CARD. PIETRO MAFFI
ARCIVESCOVO DI PISA

...

NEI CIELI

PAGINE DI ASTRONOMIA POPOLARE

RISTAMPA DELLA QUINTA EDIZIONE

TORINO
SOCIETÀ EDITRICE INTERNAZIONALE
Corso Regina Margherita, 176

TORINO - Via Garibaldi, 20 GENOVA - Via Petrarca, 22-24r ROMA - Via Due Macelli, 52-54
MILANO - Piazza Duomo, 16 PARMA - Via al Duomo, 14-22 CATANIA - Via Vitt. Em., 145-149

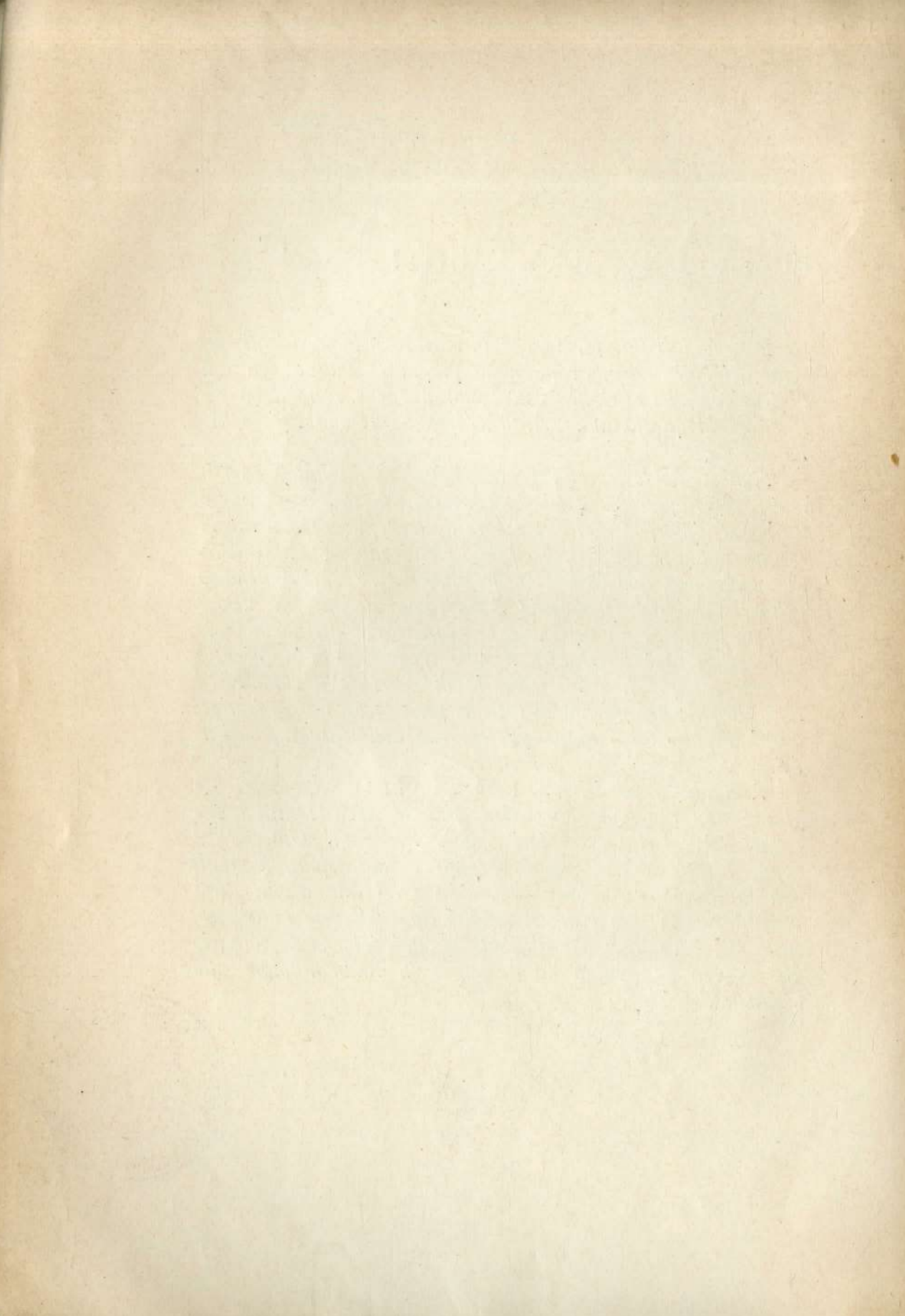
PREFAZIONE ALLA QUINTA EDIZIONE.

Incoraggiati dal favore che incontrarono le precedenti edizioni del **Nei Cieli,** *ne abbiamo preparato una nuova con l'intenzione di contribuire alle onoranze che si rendono all'Autore in questo anno venticinquesimo del suo Episcopato Pisano.*

Nonostante le molteplici occupazioni di un indefesso ministero episcopale, S. E. il CARDINALE MAFFI *ha continuato il culto dell'astronomia: con amore di figlio, accettò da Pio X l'incarico dei restauri della Specola Vaticana, con entusiasmo di ammiratore, commemorò in Reggio, nel 1918, il centenario della nascita del P. Angelo Secchi, con munificenza degna di Lui, fece a Pisa e all'Italia la profferta di un monumento in onore di Galileo Galilei. Furono lampi questi, la cui luce è rimasta impressa nella memoria di tutti; ma il volume del* **Nei Cieli,** *edito già molte volte, è, per la freschezza ed originalità di pensiero, il saggio più classico delle attitudini scientifiche dell'Eminentissimo Autore.*

Alla nuova edizione S. E. il CARDINALE MAFFI *ha aggiunto una pregevole appendice d'indole storica: tutti i Direttori dei nostri Osservatori e molti Professori Universitari sono stati larghi di saggi consigli e indicazioni, le quali contribuiranno certamente a rendere l'edizione degna della circostanza. A loro i nostri sinceri ringraziamenti: all'Eminentissimo Autore i nostri filiali omaggi, col fervido augurio che l'opera sua valga ad accendere in Italia l'amore alla Scienza dei Cieli.*

Torino, Maggio 1928.

GLI EDITORI.

AI LETTORI

(PREFAZIONE DELL'AUTORE ALLA PRIMA EDIZIONE)

Mira il ciel com'è bello, e mira il Sole
Che a sè par che n'inviti e ne console
(TASSO, *Gerus. Lib.* II, 36).

Ricordiamo la prima volta, nella quale sul piroscafo abbiamo percorso il lago di Como. Quei monti di smeraldo ingemmati dalle ville più graziose; quel cielo di zaffiro che si specchiava in un'acqua limpida come il cristallo; quelle iridi vive e fuggenti che il sole incessantemente spiegava nelle onde spumeggianti intorno alla prora, hanno allora esercitato su di noi un fascino pur grande! Impossibile restare sotto coperta! Tanta magnificenza di natura ci attraeva con forza irresistibile: bisognava uscire sulla tolda ed estatici contemplare.

Un altro piroscafo è la Terra, che ci trasporta pellegrini attraverso agli spazi. Non i monti, ma i cieli; non le ville, ma gli astri; non le iridi pallide, riflesse sull'onda, ma le iridi smaglianti fluenti dai Soli ci si spiegano davanti: potremmo noi non contemplarli? Saremmo pur infelici e ciechi da compiangere! — Su dunque, all'aperto, sulla tolda della nostra nave, e l'astronomia ci insegni a conoscere questa nave che veleggia, questi cieli che fende.

CAPITOLO I.

Nozioni preliminari.

1. *Astronomia: divisione, cenno storico.* — 2. *Sfera celeste; classificazione degli astri.* — 3. *Numero delle stelle.* — 4. *Costellazioni.* — 5. *Cataloghi stellari.*

1. — **Astronomia: divisione, cenno storico.** — L'astronomia è la scienza che studia gli astri, ossia i corpi degli spazi celesti. Confusa a lungo coll'*astrologia*, ora se ne distingue, come si distingue la chimica dall'alchimia, la scienza dal ciarlatanismo; e si divide in *astronomia fisica* e *astronomia matematica*, secondo che degli astri studia le proprietà fisico-chimiche (configurazioni, composizione, radiazioni ecc.), oppure le posizioni (astronomia sferica), o le forze che ne producono e le leggi che ne governano i movimenti (meccanica celeste).

Molti sono i titoli per i quali l'astronomia si raccomanda. Per lei hanno una guida la nautica e l'areonautica, un calendario la società, un prezioso ausilio la storia e la geografia, una storia i Soli, un'interpretazione rassicurante i fenomeni che sulle plebi un dì gettavano lo spavento (eclissi, comete ecc.); per lei ancora più grande l'idea dell'universo, e più bello quindi nell'uomo il riflesso della mente e della gloria di Dio.

Le più antiche osservazioni astronomiche risalgono forse addirittura alle prime generazioni, alle quali le dovettero potentemente imporre lo spettacolo della notte nelle pianure del Sennaar e la necessità di conoscere la misura del tempo e l'ordine delle stagioni. Quelle osservazioni furono certamente assai imperfette, e forse si limitarono soltanto alle fasi e ai movimenti della Luna: furono però efficaci e preziose, perchè, nel moltiplicarsi e nel diffondersi dei popoli, dovunque, ma sopratutto nella Caldea, nella Fenicia, nell'Egitto e nella Cina, si costituirono come il germe di studi regolari, i quali, affidati a caste privilegiate (Magi, Sacerdoti), non tardarono ad aver parte importante nei pubblici documenti (*Annali* della Cina, *papiri* e

monumenti dell'Egitto, *tavolette* dell'Assiria e della Caldea, *libri sacri* indiani, ecc.), e concorsero in qualche modo a preparare uno dei periodi più grandi dell'astronomia, il periodo greco.

Oltrechè per le arti e per le lettere, la Grecia antica si fa infatti ammirare anche per il contributo portato nello studio del cielo, sia con le concezioni teoriche, sia con le osservazioni. Cinque secoli avanti l'e. v., sul monte Ida e sul monte Mimas avevano innalzato specole di osservazione Cleostrato di Tenedo e Anassagora di Clazomene: Talete (640-546 av. Cr.) Anassimandro (611-547 av. Cr.), Metone (430 av. Cr.), Timocari ed Aristillo (300 av. Cr.), ed altri erigono gnomoni e faticano alla determinazione dell'obliquità dell'eclittica, delle epoche dei solstizi, del ritorno delle eclissi, della durata dell'anno; Eratostene (276-195 av. Cr.), in Egitto misura per il primo un arco di meridiano e la circonferenza della Terra; Ipparco (? 170-126 av. Cr.), fonda in Rodi la vera astronomia matematica e dà un catalogo di 1025 stelle, che è giudicato un lavoro più che divino [1]. Sono creazioni greche le teorie che preludono a Copernico e muovono la terra (Pitagora, Filolao, Eraclide Pontico, Platone, Ecfanto, Iceta, ecc.), e le altre che invece fanno immoto il nostro globo e intorno gli avvolgono in orbite *omocentriche* (Eudosso, Callippo, Aristotele) od *eccentriche* (Ipparco, Tolomeo) i diversi mondi. Infine con la mitologia greca si dà nome alle costellazioni forse da altri popoli determinate, e nella lingua greca si scrivono l'*Isagoge* di Gemino, i *Fenomeni* di Arato, l'*Almagesto* di Tolomeo. — In fatto di astronomia, Roma pagana ha ben poco, quasi nulla, da contrapporre ad Atene.

Benchè sia di indiscutibile valore anche il periodo arabo (600-1200), che si illustra coi nomi di Almamone († 833), di Alfragano, di Albatenius (detto il Tolomeo degli arabi, 880-928), di Ulug-Beigh (1394-1449) e lascia grandi tracce di sè nella nomenclatura del cielo; — per incontrarci in un altro periodo attivo e fecondo come il greco, dobbiamo salire fino ai tempi moderni, dal 1500 a noi. Con la scoperta dell'America (1492), con l'opera di Copernico (1543), con le leggi di Kepler (1618), e di Newton (1686), cadono tutte le idee antiche, e alle menti s'aprono campi sconfinati da indagare: a percorrere tanta distesa l'ottica (canocchiale 1608: telescopio 1639...) e la meccanica (micrometro 1659: pendolo a compensazione, 1715: eliometro, 1747: ecc.) prestano gli aiuti più validi: a richiamare al cielo le pupille più acute concorrono potentemente le scoperte che conquistano nuovi pianeti al Sole (Urano 1781: Nettuno 1846), movimenti proprii (1718) e sistemi multipli nelle stelle (stelle doppie, 1776): che restava? Restava da strappare ai Soli il segreto della loro

[1] Plinii. *Hist. nat.*, II, 24.

composizione, e questo pure (1860) la scienza l'ha ottenuto! Fate che un raggio di luce si rifranga nello spettroscopio: in quel raggio l'astronomo leggerà gli elementi, la vita, la temperatura, l'atmosfera, i movimenti dell'astro che l'ha mandato. — Tutte le epoche hanno portato la loro pietra al grande edificio dell'astronomia, e una delle più preziose l'ha certo recata la nostra. E saremmo quindi dei veri ingrati se dall'altezza, a cui le fatiche di tanti geni ci hanno sollevati, ci rifiutassimo di girar noi lo sguardo *nei cieli.*

2. — Sfera celeste, classificazione degli astri. — La Terra *pare* una pianura circolare, sulla quale, come volta immensa, si incurva e si appoggia il cielo. La volta azzurra non è essa pure che apparente, e, per illusione della vista, sembra non perfettamente sferica, ma leggermente depressa sul nostro capo: contro di lei noi *proiettiamo* otticamente tutti gli astri, per quanto nella realtà questi si trovino a distanze diversissime da noi. Altrettanto facciamo delle cime delle montagne che contempliamo in lontananza: le proiettiamo sopra di un piano comune, trascurando le valli immense che pure le separano tra di loro.

Vedendo levare e tramontare le stelle ogni giorno, fin dall'antichità si capì che la volta celeste non era un emisfero, una cupola, poggiante sulla Terra; ma una sfera perfetta e intera. Dagli antichi si credeva, almeno volgarmente, che questa sfera fosse veramente un *corpo vuoto e solido*, sulla parete interna del quale le stelle si fossero attaccate e infisse come altrettante capocchie d'oro, e la chiamavano sfera delle stelle fisse *(sphaera stellarum fixarum)*, che supponevano ruotare continuamente intorno alla Terra, questa come centro immobile. Già da lungo tempo un tale concetto, quasi puerile, abbandonato, specialmente dopo la scoperta del canocchiale, rimaneva tuttavia come *concetto geometrico*, che rende numerosi servigi agli astronomi, facilitando i calcoli delle posizioni stellari.

In questo concetto la Sfera celeste considerasi come avente un raggio interminabile che parte dalla Terra, considerata come un punto. Attesa infatti la immensa distanza, che ci separa dalle stelle dette fisse, la loro distanza angolare rimane la stessa in qualunque punto della superfice terrestre ci troviamo, rimanendo paralleli i raggi luminosi che partono da una stella verso un punto qualunque della Terra.

Gli astri si dividono in due classi: **stelle** e **pianeti**. Le stelle sono altrettanti *Soli* e brillano di luce propria: i pianeti sono altrettante *Terre* e mutuano la loro luce dal Sole, intorno al quale girano. Pianeti e stelle nei cieli si distinguono facilmente perchè:

a) le stelle *scintillano*, mentre i pianeti (fatta talvolta eccezione di Venere) hanno luce quasi tranquilla;

b) le stelle nelle osservazioni comuni mantengono tra loro posizioni *relative* fisse, mentre i pianeti si spostano rapidamente fra le stelle;

c) le stelle nei canocchiali anche potenti si presentano sempre come punti luminosi, mentre i pianeti vi compaiono come globi nettamente definiti, con diametri che crescono col crescere dell'*ingrandimento*. — Herschel ebbe in questo carattere la guida alla scoperta di Urano (13 marzo 1781).

I satelliti si considerano come pianeti secondari; essi girano intorno ai pianeti, come i pianeti intorno al Sole.

Per intendere quanto esporremo nei primi capitoli sui movimenti della Terra, è necessario che prendiamo subito una certa cognizione delle stelle.

Secondo una classificazione che risale fino a Tolomeo e che tutti gli astronomi hanno conservata, le stelle visibili ad occhio nudo si dividono in *sei* grandezze, e si chiamano di 1ª quelle che innanzi a tutte le altre scintillano nel crepuscolo della sera ed ultime scompaiono al mattino; di 6ª le più piccole che un occhio normale può appena distinguere in una notte serena e senza Luna; di 2ª, di 3ª, di 4ª, di 5ª gradatamente le intermedie.

Il punto di partenza delle grandezze stellari subì delle fluttuazioni. Da principio fu scelto Aldebaran come unità di misura, ma presto si vide che con questa stella, erano inevitabili degli errori. Si decise allora che il campione di grandezza corrispondesse alla intensità media della luce che c'inviano 20 delle più brillanti stelle del cielo; ma anche questo metodo presentò altre difficoltà. Finalmente l'Osservatorio di Harvard College (Cambridge, Mass., Stati Uniti), che in queste materie fa autorità, decise che le osservazioni si facessero per mezzo di confronti con una regione del cielo studiata in modo speciale, quella vicino al polo Nord, dove le grandezze di tutte le stelle furono misurate con processi molto precisi. Nella scala così determinata, la *stella polare* ha per grandezza visuale 2,12; e questo è il numero che serve ora di base alle grandezze stellari.

Dall'una all'altra grandezza si passa per gradi talvolta insensibili, e si ritiene che 2,512 sia il rapporto *medio* dell'intensità luminosa apparente delle stelle d'un dato ordine all'intensità apparente delle stelle dell'ordine immediatamente inferiore *(costante fotometrica)*. In generale si può dunque ritenere che, per la luce, una stella di prima grandezza ne vale 2,5 di seconda, 6 di terza, 15,6 di quarta, 39 di quinta, 97,0 di sesta.

Per determinare la grandezza relativa delle stelle si ricorre ai fotometri. Quelli che sono considerati oggi come più esatti permettono di confrontare la stella vera con una artificiale più debole, e poi d'indebolire l'intensità luminosa della vera stella fino a renderla eguale a quella artificiale. L'indebolimento si produce facendo traversare al

raggio della stella o un cuneo scuro mobile, o un polarizzatore. Esiste una relazione fra lo spessore del cuneo traversato, l'angolo di cui si è fatto ruotare il polarizzatore e l'intensità della luce della stella: questa relazione si legge su una apposita tabella che si chiama la scala del fotometro.

Non si dimentichi però di avvertire che la classificazione così stabilita ha valore puramente *soggettivo* e non *oggettivo*, e che quindi essa esprime soltanto lo *splendore apparente* (col quale i diversi astri si presentano a noi) e non la grandezza e neppure lo splendore proprio che hanno in sè; la distanza, la composizione chimica, la temperatura, l'atmosfera di una stella, indipendentemente dalla sua grandezza intrinseca, ne possono far variare su vasta scala lo splendore e l'intensità luminosa. Supponete eguale ad *uno* la distanza a cui si trova una stella di prima grandezza: portate quella stella successivamente alle distanze 1,6; 2,5; 4..., e con ciò solo essa vi apparirà rispettivamente di 2ª, di 3ª, di 4ª... grandezza.

I confronti ed i fotometri (ad es. quello di Zöllner) permettono le misure delle grandezze stellari sino all'8ª e anche alla 10ª. Per le stelle più piccole si adopera il metodo fotografico, prendendo per criterio della loro luminosità la durata di posa necessaria per registrarle. Si vide che la durata per l'impressione delle stelle di 8ª grandezza sta a quella ch'è necessaria per l'impressione delle stelle di 16ª come 1 sta a 6000; di qui una scala molto estesa per valutare le grandezze contenute in questa serie di piccole stelle.

Le grandezze trovate ad occhio (visuali) e quelle trovate colla fotografia (fotografiche) non sono dello stesso ordine; esiste tuttavia fra di loro un rapporto costante.

Siccome le stelle non hanno tutte lo stesso colore, come avremo occasione di dire più ampiamente in seguito, le stelle azzurre classificate col criterio della fotografia presentano una grandezza minore della grandezza visuale; nelle stelle bianche la grandezza fotografica e quella visuale si equivalgono; nelle rosse la grandezza fotografica è maggiore della visuale. Per questa ragione la differenza delle grandezze determinate coi due criteri viene chiamata in astronomia col nome di « **Indice del colore** » ed è negativa, nulla o positiva secondo che la stella è azzurra, bianca o rossa.

Occorre osservare però che i fotometri non permettono la determinazione della grandezza delle stelle di debolissimo splendore. Gli astronomi moderni superano la difficoltà ricorrendo alla fotografia, con lastre pancromatiche e filtri di luce che lascino passare in prevalenza i raggi gialli, onde l'apparecchio fotografico funzioni nelle stesse condizioni dell'occhio umano. Le grandezze stellari così determinate si chiamano *fotovisuali.*

Altri metodi per determinare la grandezza di una stella indipendentemente dall'osservazione visuale sono quelli basati sugli effetti magneto-elettrici della luce, e quindi abbiamo il fotometro a selenio e il fotometro fotoelettrico; anzi negli ultimi anni gran progresso è stato fatto colla cella fotoelettrica. Questa consiste in un globo di vetro nel quale l'aria è sostituita da un gas, come l'Argon. Le pareti interne della cella sono coperte di un metallo alcalino, eccetto una finestrina dalla quale si fa entrare il raggio della stella. Si ha così una emissione di elettroni in quantità proporzionale alla intensità della luce, e la quantità di elettroni emessa viene misurata per mezzo di un elettrometro. Tutto l'apparechio è fissato al canocchiale, al posto dell'oculare.

Fig. 1. — Fotometro elettrico al refrattore di 30 cm. nell'Osservatorio di Berlin-Babelsberg (Babelsberg Veröffentl. I, Nr. 1).

È questo il metodo del Prof. Guthnick, ed è superiore a tutti gli altri in esattezza.

3. — Numero delle stelle. — Le stelle visibili ad occhio nudo, su *tutta la volta* del cielo, non sono che 6000 circa, o, più precisamente 5719 secondo l'Houzeau, 5850 secondo il Proctor. Heis e Gould portano questi numeri fino a 10-12 mila, forse perchè, dotati di pupille penetrantissime e in condizioni assai favorevoli di osservazione, essi potevano arrivare anche a stelle di 7ª grandezza, che i più preferiscono considerare come telescopiche. Chi trova piccoli questi numeri, esamini con attenzione il cielo e noterà, forse per la

prima volta, molte plaghe anche lassù misere e deserte. L'errore volgare, che crede innumerabili le stelle visibili ad occhio nudo, dipende da questo che la scintillazione, moltiplicando le impressioni, moltiplica apparentemente gli astri, e l'occhio troppo mobile, scorre a numerare più volte una medesima stella; e dipende anche dal fenomeno per cui si vedono meglio le stelle laterali alla visuale. Anzi in realtà un occhio mediocre e in circostanze atmosferiche ordinarie vede poco più di 2000 stelle.

Le stelle visibili ad occhio nudo non rappresentano però che l'avanguardia del cielo, e sterminate davvero sono infatti le altre, che solo il telescopio può rivelare. Il Chacornac, con un telescopio di 27 centimetri di apertura, potè contare 3205 stelle in un piccolo spazio di cielo, nel quale a occhio nudo prima non ne aveva trovato che 6. Col crescere della potenza dello strumento cresce *di solito* nel campo il numero degli astri, e nei grandi istrumenti si finisce coll'avere davanti una *polvere d'oro* che opprime il pensiero. Si rifletta infatti che ognuno di quei punti luminosi è un Sole, forse più grande e più vivo del nostro, impiccolito soltanto dalla immane distanza!

David Gill presentò all'Accademia di Parigi cinque fotografie [1] della regione celeste che circonda η d'*Argo*, ed ottenute, la prima con la posa di sei minuti, la seconda di 1 ora, la terza di ore $3^1/_4$, la quarta di 12 ore (in 4 giorni), e la quinta di 24 ore (in 8 giorni). Ebbene, la prima non mostrava traccia di nebulosità; la seconda (tipo della *Carta del Cielo*) mostrava debolemente la parte brillante di una nebulosa; la terza, oltre la nebulosa, più estesa, mostrava 40 mila stelle, ossia 10 mila stelle per grado quadrato; la quarta, oltre la nebulosità molto vasta, recava più di 200 mila stelle, ossia 50 mila per grado quadrato; la quinta aveva più estesa e marcata la nebulosa del n. 4, e poi più di 400 mila stelle, ossia 100 mila stelle per grado quadrato!

In continuazione degli ordini stabiliti per le stelle visibili ad occhio nudo, anche le stelle telescopiche si sono classificate per grandezze discendendo dalla 7ª alla 18ª ed anche alla 20ª.

In condizioni atmosferiche mediocremente buone, le stelle di 9ª grandezza si possono vedere con un canocchiale munito di obbiettivo di 27 mm. di diametro, quelle di 10ª, 11ª, 12ª con obbiettivi aventi rispettivamente il diametro di mm. 41, 67, 108; le stelle di 13ª, 14ª, 15ª grandezza richiedono per essere vedute, diametri di mm. 700 e 1000. Il telescopio dell'Osservatorio di Monte Wilson in California raggiunge le stelle di 8ª grandezza. Regnano molte incertezze nelle delimitazioni dei confini degli ultimi ordini. Tutto questo se si applica direttamente

---

(1) *C. R.* t. 123, p. 29, seduta del 5 luglio 1896.

l'occhio al canocchiale, ma quando all'occhio si sostituisce la lastra fotografica diminuiscono le dimensioni del diametro dell'obbiettivo: con un obbiettivo di mm. 330 si possono raggiungere le stelle di 14ª grandezza.

Un'atmosfera limpida e non disturbata da estranee illuminazioni, favorisce la potenza del telescopio e per questo si cerca di portare gli osservatorî sopra alture lontane dalle città, e meglio sull'alta montagna.

Quando G. B. Donati trasportò dal cuore di Firenze alla ridente collina di Arcetri l'Osservatorio Astronomico Fiorentino (1872) non soltanto onorò quei luoghi sacri alla memoria di Galileo, ma presentì le esigenze dell'Astronomia nuova. Recentemente si è cercata la libera campagna per l'Osservatorio di Torino che si è trasportato a Pino Torinese (m 620 s. m.), e per l'Osservatorio di Brera che si è sdoppiato istituendo una succursale a Merate nel 1926.

Meglio che in tutte le sue altre produzioni, nelle stelle ha voluto la natura equilibrare col *numero* la *piccolezza* degl'individui e l'Houzeau credette di scoprire una specie di progressione geometrica nelle stelle distribuite nelle varie grandezze come indica il seguente prospetto:

A					B		
20	stelle di	1ª	grandezza		1)	51:	20=2,5
51	»	2ª	»		2)	200:	51=3,9
200	»	3ª	»		3)	565:	200=2,9
595	»	4ª	»		4)	1213:	595=2,0
1213	»	5ª	»		5)	3640.	1213=3,0
3640	»	6ª	»				
							14,3:5=2,8

La ragione della progressione per il numero sarebbe in media 2,8 molto prossimo al valore 2,5 della costante fotometrica. Le stelle si conterebbero così fino alla 9ª grandezza e per gli ordini inferiori la ragione della progressione crescerebbe fino a 3. Con questi dati noi saremmo adunque condotti ad ammettere più di 10 milioni di stelle per la 13ª grandezza, 32 milioni per la 14ª, e complessivamente per le prime 18 grandezze un totale di 3871000000!

Oggi il numero di stelle si calcola con un criterio differente e si è gettato il fondamento di un nuovo capitolo dell'Astronomia, la « **Statistica stellare** » che per opera specialmente del Kapteyn e dei suoi allievi VanRhyn ecc. ha già notevolmente ampliato le nostre conoscenze sopra la struttura dell'universo. Il concetto fondamentale è il seguente:

Se le stelle fossero in realtà ugualmente luminose e la differenza di splendore apparente dipendesse soltanto dalla diversa distanza,

Tav. I

Ercole
Corona boreale
Lira
Vega
Delfino
Cigno
Dicembre
Gennaio
Novembre
Arturo
Boote
Dragone
Febbraio
Pegaso
Ottobre
Pla Orsa
Cefeo
Marzo
Settembre
Polare
Cassiopea
Andromeda
Gde Orsa
Giraffa
Aprile
Pesci
Leone
Agosto
Triangolo
Lince
Regolo
Cerchio di perpetua apparizione per la latitudine di Pisa
Maggio
Perseo
Ariete
Luglio
Capra
Giugno
Cocchiere
Pleiadi
Ballena
Eclittica
Gemelli
Castore
Polluce
Simboli per la Grandezza delle Stelle
1a 2a 3a 4a 5a Grandezza
Apice Solare

Tav. II

Lince
Cocchiere
Capra
Perseo
Algol
Cassiopea
Andromeda
Triangolo
Pleiadi
Toro
Aldebaran
Castore
Polluce
Gemelli
Cancro
Plo Cane
Procione
Ariete
Pegaso
Pesci
Orione
Liocorn
Mira
Balena
Rigel
Eridano
Sirio
Gde Cane
Lepre
Colomba
Nave
Scultore
Fenice

Tav. III

Ercole
Corona boreale
Boote
Arturo
Cani da caccia
Gde Orsa
Lince
Leone
Regolo
Cancro
Serpente
Vergine
Spica
Idra
Bilancia
Corvo
Scorpione
Lupo
Centauro
Nave
(16h) 240°
(15h) 225°
(14h) 210°
(13h) 195°
(12h) 180°
(11h) 165°
(10h) 150°
(9h) 135°
(8h) 120°
+45°
+30°
+15°
±0°
-15°
-30°
-45°

Tav. IV

Andromeda
Pegaso
Pesci
Cigno
Lira
Vega
Delfino
Altair
Aquila
Acquario
Capricorno
Pesce
Australe
Fomalhaut
Scultore
Sagittario
Corona
Australe
Ercole
Corona
boreale
Serpente
Ofiuco
Antares
Scorpione

le stelle di seconda grandezza, avendo uno splendore 2,512 volte minore di quelle di prima grandezza, dovrebbero avere una distanza 1,58 volte maggiore; appunto perchè lo splendore di una sorgente luminosa varia in ragione inversa del quadrato della distanza. Analogamente le stelle di terza grandezza avrebbero una distanza 1,58 volte maggiore di quelle di seconda, ecc.

Ammettendo che le stelle siano distribuite ugualmente ed uniformemente nello spazio, vediamo allora che il numero delle stelle di seconda grandezza dovrebbe essere di tanto superiore a quello delle stelle di prima grandezza per quanto il volume di una sfera di raggio 1,58 supera quello di una sfera di raggio 1; e poichè i volumi delle sfere stanno tra loro come i cubi dei raggi, ne segue che le stelle di seconda grandezza sarebbero 3,98 volte più numerose delle stelle di prima grandezza. Analogamente le stelle di terza grandezza dovrebbero essere 3,98 volte più numerose di quelle di seconda grandezza, ecc.

4. — **Costellazioni.** — Le stelle vennero distribuite in gruppi arbitrari, che si dissero **costellazioni** o **asterismi**, e che nella loro storia riflettono tanta parte della storia della umanità. Le più belle, che si distendono sul cielo settentrionale o passano di poco sull'australe, sono di determinazione antica; le altre, che circondano il polo sud o che risultano da stelle minori, trascurate *(informes)* dai Greci, sono più recenti. Principali tra le prime: l'*Orsa Maggiore, Orione,* le *Plejadi,* le dodici *zodiacali,* ecc.; tra le seconde: la *Croce del Sud,* i *Levrieri,* lo *Scudo di Sobieski,* ecc. — A qualcuno parve profanazione la mitologia nella nomenclatura delle costellazioni e tentò (Giorgio Schiller, 1627) di *cristianizzare* il cielo sostituendo in esso delle forme religiose, per esempio la *Croce* al *Cigno,* gli *Apostoli* ai segni *zodiacali,* ecc. Il tentativo però non ottenne favore e cadde, come cadde in seguito anche l'altro di Weigel (1688), che avrebbe voluto con gli astri formare in cielo gli stemmi delle case regnanti e aveva fatto di *Boote* un *giglio,* di *Orione* un'*aquila a due teste,* ecc.

Le costellazioni dividono il cielo in altrettante regioni: non *individuano* però le singole stelle. Per ottenere anche questa determinazione gli antichi fecero ricorso prevalentemente a circonlocuzioni; gli Arabi abbondarono nel dare nome propri alle stelle principali: i moderni (Bayer, 1603) vi impiegarono l'alfabeto greco, esaurito il quale passarono all'alfabeto latino, indi ai numeri. In generale, l'ordine delle lettere corrisponde all'ordine delle intensità luminose e a parità d'intensità, ad un allineamento da nord a sud. — Piccolomini (1540), che aveva fatto uso del solo alfabeto latino, non fu

seguíto, e gli restò soltanto il merito di aver suggerito il metodo di notazione al Bayer.

Per aiutarci con delle figure a conoscere le principali costellazioni, consideriamo il cielo, quale appare a prima vista, come una enorme sfera rigida rotante intorno ad un asse, che incontra la sfera in due punti, uno al disopra, l'altro al disotto del nostro orizzonte: quello al disopra si chiama polo Nord o boreale, quello che non vediamo dall'Italia si chiama polo Sud od australe. Un piano che passi per il centro della sfera celeste e sia perpendicolare all'asse suddetto, taglia la sfera lungo una circonferenza che si chiama equatore celeste. Questo è diviso, come tutte le circonferenze, in 360 gradi a partire da un determinato punto fisso. Gli archi dell'equatore contati a partire dall'origine prendono il nome di **ascensione retta**. Si immagini di condurre per i due poli tante circonferenze quante sono le divisioni segnate sull'equatore; anche queste si dividono in gradi, ma si prende come origine l'intersezione coll'equatore e si contano i gradi da questo fino al polo Nord e fino al polo Sud, quindi ognuna di queste circonferenze ha quattro graduazioni da 0° a 90°.

Le graduazioni che vanno dall'equatore verso il polo Nord si chiamano archi di **declinazione positiva o boreale**, quelle contate dall'equatore verso il polo Sud si chiamano archi di **declinazione negativa o australe**.

Condurendo per ognuno dei gradi di declinazione i cerchi paralleli all'equatore, si ottiene una specie di reticolato in modo che le stelle racchiuse in ognuna delle aree individuate dagli archi di un grado hanno ascensioni rette e declinazioni differenti fra loro soltanto nei primi e secondi di grado. Nei disegni che seguono il reticolato è disegnato a maglie di 15°.

Per riconoscere le diverse costellazioni, si procede con allineamenti partendo da quelle che sempre appariscono e che per noi sono l'Orsa Maggiore, l'Orsa Minore e la Cassiopea. (Vedi Tavola I).

Orsa Maggiore. Questa costellazione è formata da sette stelle *(septem-triones)* a forma di carro, ragion per cui l'Orsa Maggiore comunemente è detta *Gran Carro.* Gli antichi per indicare queste stelle avrebbero detto: *la prima, la seconda... stella della coda,* come il nostro popolo dice: *la prima, la seconda... del timone:* gli Arabi invece le avrebbero chiamate *Benetuasch, Mizar...* ecc.: i moderni le dicono: η, ζ... *Ursae majoris.* La lunghezza complessiva di questo carro è circa 25°, vale a dire, le visuali che, partendo dal nostro occhio, terminano sulle stelle η ed α fanno tra loro un angolo di 25°. Vicino alla stella ζ del timone si trova una piccola stella, *Alcor,* che per esser vista esige un cielo assai puro.

Orsa Minore. È una costellazione molto simile alla precedente, solo posta in senso contrario e di dimensioni più modeste, la sua lunghezza è 19° e comunemente è detta *Piccolo Carro.* La principale stella di questa costellazione è di 2ª grandezza, essa è la *Polare* situata, come tutti sanno in vicinanza del Polo celeste. Per ritrovare questa stella basta unire con una linea le stelle β ed α del Gran Carro

e prolungarla da β verso α di una lunghezza presso a poco uguale a quella del Gran Carro.

Cassiopea. Unendo la ε del Gran Carro con la polare e prolungando di un'uguale quantità, si cade su di una costellazione, posta in parte nella Via Lattea, detta Cassiopea. Essa ha la forma di **M** molto allargato, oppure di **Y** avente però il gambo ripiegato.

Boote (V. T. III). La stella principale (α) è *Arturo* che si trova sul prolungamento del timone del Gran Carro o meglio, sull'allineamento β γ del medesimo. Si riconosce poi facilmente perchè accompagnata da cinque stelle, che formano un pentagono. La costellazione è facilmente osservabile a Sud nel mese di giugno alle ore 21. (Anche per le altre costellazioni, quando sarà indicato il mese in cui saranno visibili a Sud, si intenderà che l'ora di osservazione siano le 21).

Corona Boreale (V. T. III). In vicinanza della costellazione di Boote si trova la Corona Boreale, facile a riconoscersi per una serie di stelle poste in semicerchio, di cui la principale (α) è di 2ª grandezza ed è chiamata la *Perla.* È osservabile a Sud nel luglio.

Cocchiere (V. T. II). Dalla parte opposta del Carro, rispetto ad Arturo, si trova la costellazione del Cocchiere, di cui la principale stella è la *Capra,* vicinissima alla Via Lattea, e si trova sull'allineamento η ζ del Gran Carro. Questa costellazione è il radiante delle Aurigidi; ma delle stelle filanti sarà parlato in seguito. È visibile a Sud nel febbraio.

Lira (V. T. IV). Questa costellazione si trova dalla parte opposta del Cocchiere rispetto alla Polare. La principale stella è *Vega,* facile a riconoscersi per il parallelogramma che l'accompagna, formato di 4 stelle. Vega si trova sensibilmente sull'allineamento delle guardie del Piccolo Carro; cioè sulla linea data da ζ dell'Orsa Minore e dalla stellina di 5ª grandezza che le sta appresso. Vega forma con Arturo e la Polare un gran triangolo rettangolo in cui proprio essa occupa il vertice dell'angolo retto. Si può osservare a Sud nell'agosto.

Ercole (V. T. IV). Questa costellazione si trova fra la Corona Boreale e la Lira, è formata di due quadrilateri di stelle in gran parte di 3ª grandezza. È visibile a Sud nel luglio.

Cigno (V. T. IV). Vicinissima alla costellazione della Lira si trova, situata nella Via Lattea, una gran croce che forma appunto la costellazione del Cigno. La stella principale di questa costellazione si trova sensibilmente sulla linea data da β del Grande e ζ del Piccolo Carro. Si può osservare a Sud nel settembre.

Perseo (V. T. I). Unendo con una linea α del Cigno con γ Cassiopea e prolungando s'incontrano delle stelle formanti un arco caratteristico rivolto da una parte verso la Capra e dall'altra verso la Cassiopea. Questa costellazione è quella di Perseo e contiene Algol. Quando il cielo è puro si riconosce questa costellazione per un ammasso di stelle. È visibile a Sud nel dicembre.

Dragone (V. T. I). È una lunga fila di stelle che serpeggiano tra le due Orse; ma in modo speciale intorno alla minore. Questa fila di stelle piega poi verso la stella Vega terminando con un quadrilatero che raffigura la testa.

Pegaso e **Andromeda** (V. T. IV e II). La linea β-α del Gran Carro, che ci ha servito per trovare la polare, prolungandola oltre questa, cade su di un grande trapezio chiamato *Quadrato di Pegaso.* È da osservare che la stella più vicina a Cassiopea è la stella α della costellazione di Andromeda. Questa costellazione è formata di tre stelle di 2ª grandezza situate sulla diagonale α-α del Quadrato di Pegaso. Prolungando questa diagonale, s'incontra la stella α di Perseo. L'insieme di tutte queste stelle cioè, α β γ di Pegaso, α β γ di Andromeda ed α di Perseo formano un carro simile all'Orsa Maggiore di dimensioni però molto

maggiori. Questo gran carro è facilmente osservabile a Sud nel mese di novembre.

Orione (V. T. II). Sull'allineamento Polare-Capra si trova la costellazione popolarmente detta *i tre Mercanti* o *i tre Re-Magi*. È formata da un grande quadrilatero, avente nel centro tre stelle di 2ª grandezza, da cui appunto prende il nome. Questa costellazione è visibile a Sud nel febbraio.

Toro (V. T. II). Tirando una linea secondo i tre Mercanti, dalla parte Nord s'incontra una stella di 1ª grandezza detta *Aldebaran,* che è la principale della costellazione del Toro. Questa costellazione si può riconoscere per i due ammassi stellari le *Pleiadi* (volgarmente dette la Chioccetta) e le *Jadi,* in cui appunto si trova Aldebaran.

La costellazione del Toro è visibile a Sud nel gennaio. La stessa linea dei Re-Magi, prolungata dalla parte Sud, incontra una stella di 1ª grandezza, la più bella del cielo *Sirio,* la quale appartiene alla costellazione del Cane Maggiore.

Gemelli (V. T. II). Tirando una linea secondo la diagonale β-α del quadrilatero di Orione, si passa in vicinanza di due stelle, una di seconda ed una di prima grandezza, chiamate *Castore* e *Polluce*. Queste stelle si trovano anche seguendo l'allineamento dato dalla diagonale δ-β del Gran Carro. I Gemelli si osservano a Sud nel marzo.

Cane Minore (V. T. II). Tirando la linea γ-α di Orione si trova *Procione,* che è la stella principale della costellazione. Essa forma un triangolo equilatero con α Orione e Polluce. Sirio e Procione sono osservabili a Sud nel marzo.

Balena (V. T. V). Prolungando, dalla parte opposta di Procione, la linea α-γ di Orione si cade nella costellazione della Balena, formata da due quadrilateri, uniti per così dire dalla stella *Mira*. È visibile a Sud nel dicembre.

Leone (V. T. III). Unendo con una linea le stelle δ e γ del Gran Carro, si cade su di una stella di 1ª grandezza chiamata *Regolo,* che è la principale del Leone. Questa costellazione è formata di un grande trapezio e di un arco raffigurante il collo del Leone. Questa costellazione è osservabile a Sud nel mese di aprile.

Vergine (V. T. III). Osservando il cielo verso la costellazione del Leone, si nota un gran triangolo rettangolo formato da stelle di 1ª grandezza Regolo, Arturo, *Spiga*. Quest'ultima occupa proprio l'angolo retto ed è la principale della costellazione della Vergine. La Spiga si può anche individuare con l'allineamento α-γ del Gran Carro. È osservabile a Sud nel giugno.

Scorpione (V. T. IV). Unendo con una linea Regolo alla Spiga e prolungando si passa in vicinanza di una stella rossastra che è *Antares,* osservabile a Sud nel luglio. Antares è la principale dello Scorpione.

Pesce Australe (V. T. IV). A questa costellazione appartiene la stella di 1ª grandezza *Fomalhaut,* che si trova sull'allineamento delle stelle β-α di Pegaso. È osservabile a Sud nell'ottobre.

Sagittario (V. T. IV). Prossimo ad Antares si trova un arco caratteristico di stelle formanti la costellazione del Sagittario. È visibile a Sud nell'agosto.

Aquila (V. T. IV). Unendo una linea Fomalhaut a Vega, in vicinanza della Via Lattea, s'incontra una stella di 1ª grandezza *Altair,* la principale della costellazione. Altair si riconosce facilmente per due stelle che l'accompagnano e che somigliano ai Re-Magi di Orione. Questa costellazione è osservabile a Sud nel settembre.

5. — **Cataloghi stellari.** — Le tavole V e VI riuniscono una tutte le stelle che hanno una declinazione positiva, l'altra tutte le stelle che hanno la declinazione negativa. — Per trovare una stella

bisogna conoscere le sue coordinate equatoriali, cioè la sua ascensione retta che si indica con α e la sua declinazione che si indica con δ. Gli elenchi che danno per ogni stella l'ascensione retta e la declinazione si chiamano **Cataloghi stellari** che vanno distinti dagli **Atlanti stellari,** nei quali, con punti proporzionati alle grandezze si rappresentano le stelle sulla carta nelle posizioni relative che tengono fra loro in cielo. — Il primo Catalogo stellare è quello di Ipparco, che dà le posizioni di 1025 stelle: altri e di altissimo valore hanno dati Hevelio, Flamsteed, Piazzi, Römer, Bradley, Lalande, Argelander, Gould e Schoenfeld.

Alcuni Cataloghi, come quello di Auwers, si chiamano fondamentali perchè danno le posizioni di poche stelle, dette esse pure *fondamentali,* osservate molte volte e con molta precisione in modo da poterle riguardare come aventi posizioni le più esatte possibili e da potercene quindi servire per determinare le posizioni delle altre stelle, che, rispetto a queste, sono dette relative.

Dopochè David Gill all'Osservatorio della città del Capo ed i fratelli Henry all'Osservatorio di Parigi furono riusciti ad ottenere delle buone fotografie di stelle, sorse in tutti il desiderio di preparare la fotografia di tutto il cielo stellato quale si rappresentava alla fine del sec. XIX, da lasciarsi come eredità agli astronomi avvenire.

Nel mese di Aprile dell'anno 1887 si radunò in Parigi un Congresso di 50 astronomi appartenenti a 15 diverse nazionalità. — In esso si stabilì di formare un gigantesco **Atlas stellarum** che comprendesse le stelle dei due emisferi fino alla 14ª grandezza, con un catalogo che desse le coordinate fino all'undicesima. — L'atlante completo dovrebbe constare di circa 2000 fogli in cui sarebbero ritratte 30 milioni di stelle!

Si comprende benissimo come sarebbe stato impossibile formare questo atlante gigantesco se si fosse dovuto osservare direttamente un sì gran numero di stelle, mentre per mezzo della fotografia, su di una lastra si possono portare per la misura e per il calcolo più di 500 immagini stellari, che, riferite ad una trentina di stelle di riferimento con macromicrometro e tavole numeriche ci danno in poco tempo e con tutta comodità le posizioni di quelle stelle nel cielo.

Il **macromicrometro** è lo strumento che serve a trovare le coordinate delle immagini stellari della lastra fotografica, riferite al centro di questa: esso è essenzialmente costituito di un portalastre opportunamente manovrabile per mettere in fuoco la lastra, di un microscopio per l'ingrandemento delle immagini e delle loro distanze, di un reticolo (doppio filo) mobile secondo le ascisse e di uno mobile secondo le ordinate, ambedue spostabili per mezzo di due corrispondenti micrometri.

Venendo su ogni lastra fotografica impresso un reticolato costituito da 26×26=676 quadretti, si misurano col macromicrometro le coordinate delle immagini stellari rispetto ai lati del quadretto in cui si trovano: ora siccome ciascun quadretto ha una ben studiata distanza dal centro della lastra, aggiungendo alle misure fatte nel quadretto le distanze di questo dal centro suddetto, si hanno le due coordinate della stella riferite al centro della lastra.

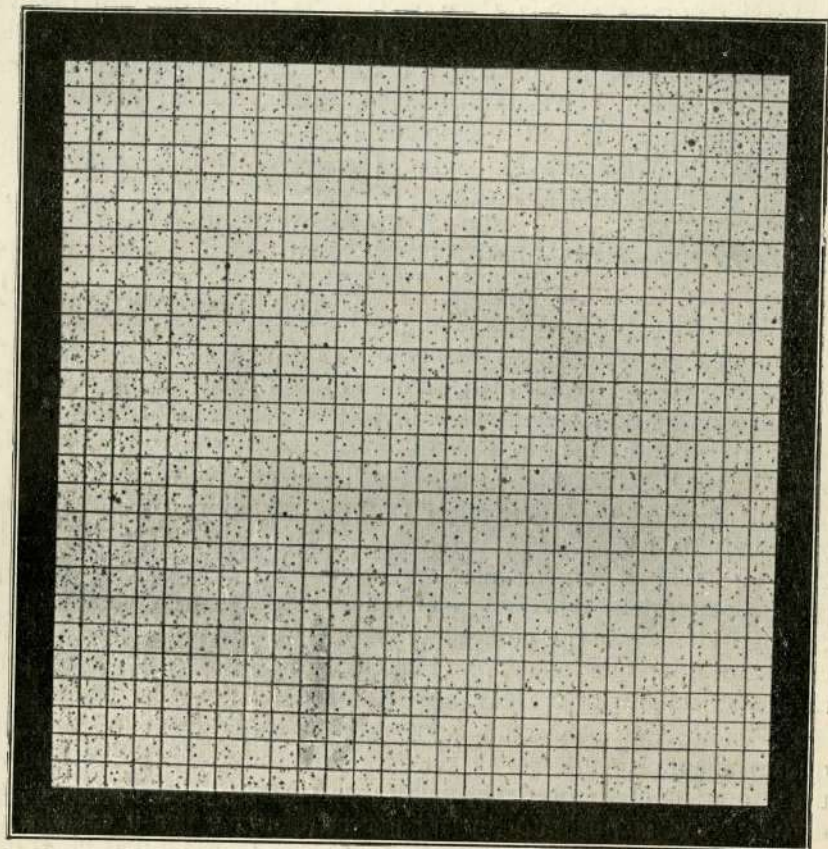



Fig. 2. — Saggio di una fotografia per la preparazione dell'Atlante Stellare.

Perchè questo grande monumento scientifico meglio riuscisse si pensò di dividere il lavoro fra diciotto osservatori, posti in differenti latitudini, a ciascuno dei quali si assegnò una zona determinata da fotografare. Sebbene però alcuni di questi, per ostacoli insormontabili, dovessero rinunciare all'incarico avuto, pur tuttavia non fu compromessa la riuscita finale dell'*Atlas stellarum,* perchè altri osservatori entrarono a far parte della grande impresa.

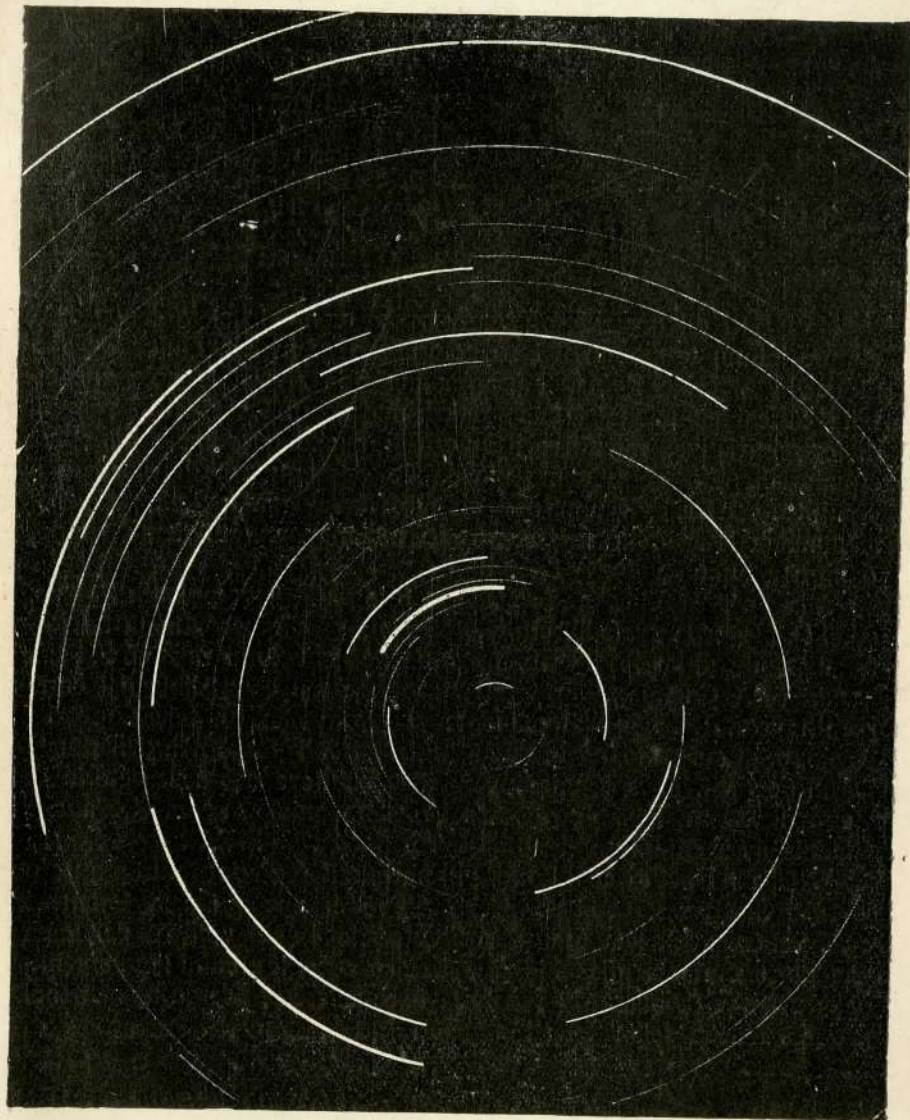



Fig. 3.
Gli archi di cerchio che descrivono in una notte le stelle intorno al Polo Nord della sfera celeste.

Le zone celesti sono oggi così distribuite:

1. — Greenwich	+90° a +65°		10. — Algeri	4° a — 2°	
2. — Vaticano	64° »	55°	11. — S. Fernando	—3° »	— 9°
3. — Catania	54° »	47°	12. — Tacubaya	—10° »	—15°
4. — Helsingfors	46° »	40°	13. — Hyderabad	—17° »	—23°
5. — Potsdam	39° »	32°	14. — Cordoba	—24° »	—31°
6. — Oxford	31° »	25°	15. — Perth e	—32° »	—37°
			Edimburgo	—38° »	—40°
7. — Parigi	24° »	18°	16. — Capo di B. S.	—41° »	—51°
8. — Bordeaux	17° »	11°	17. — Sydney	—52° »	—64°
9. — Tolosa	10° »	5°	18. — Melbourne	—65° »	—90°

Non tutti gli osservatori si posero alacremente al lavoro e solo cinque hanno terminato il loro compito: Greenwich, Oxford, Capo di B. S., Algeri e Roma. Il programma prescriveva le sole coordinate cartesiane misurate delle lastre: ma alcuni Osservatori vollero, di loro iniziativa, estendere il lavoro fino alle coordinate definitive equatoriali. Ciò ebbe come inevitabile conseguenza di ritardare il compito, ed i ritardi non devono fare meraviglia quando si pensi all'immane lavoro, in cui occorrono incommensurabilmente tempo, danaro e buona volontà [1].

Alla Specola Vaticana preparò le fotografie il compianto P. Lais, ed il P. Hagen, attuale Direttore, colla sua prodigiosa attività ha fortunatamente ultimato la pubblicazione dei 10 volumi relativi alla sua zona. — A Catania le fotografie furono quasi completate dal compianto prof. Riccò ed attualmente si lavora alla pubblicazione del catalogo, di cui sono usciti già alcuni fascicoli per opera dell'attuale Direttore prof. Favaro, coadiuvato dal Direttore dell'osservatorio di Capo di Monte (Napoli), e fra sei o sette anni si spera che anche Catania avrà compiuto il suo lavoro.

L'Italia ha avuto così l'onore di portare il suo contributo a questo « *Atlas Stellarum* » con la preparazione di due zone: la Catanese e la Vaticana. Questa ultima è dovuta alla buona volontà del Papa che pur avendo la missione di sorvegliare fra gli uomini l'incremento della scienza divina, non può tuttavia rimanere indifferente dinanzi ai progressi della scienza umana.

---

[1] Vedi S. A. FAVARO. *Il Catalogo Astrofotografico Internazionale 1900 e la zona di Catania*, in Annuario 1927 - Catania 1926.

CAPITOLO II.

La Terra

1. — **Errori antichi.** — A conoscere la forma e l'isolamento della Terra l'uomo non arrivò che lentamente. Parve impossibile l'isolamento; e si fece sostenere la Terra o da dodici colonne (Sacerdoti Vedici), o da elefanti posati sul dorso di una tartaruga (Giapponesi), oppure dall'aria, dall'acqua, dal cielo. — Parve piana e circolare la sua superficie, e tale la si dipinse per lungo tempo, quasi fosse un disco circondato da un Oceano immenso (Omero). Se non presso le intelligenze più acute, almeno presso le deboli e nel popolo tali idee avevano incontrato favore: di qui l'ardire in alcuni a dar corso alle favole più strane. Pitea di Marsiglia, ad es., avendo navigato (330 av. Cr.) all'*ultima Thyle* (Islanda), racconta di essere giunto dove non si scorgevano più nè acqua, nè terra, ma solo un indistinto, che legava la Terra al cielo. Più ardito un altro soggiunge invece di avere, con miglior fortuna, toccato i confini estremi — *sistimus hic tandem nobis ubi defuit orbis* — e di aver dovuto là chinare capo e spalle per non urtare contro la volta del cielo. Per un terzo, infine, i popoli che abitano le coste dell'Atlantico devono al tramonto sentir friggere nell'Oceano il Sole, come nell'acqua un ferro rovente — *audiet herculeo stridentem gurgite solem* [1]. — Errori questi e favole, che le osservazioni e le riflessioni son venute cancellando.

2. — **Isolamento.** — Persuadono difatti anzitutto l'isolamento della Terra: *a)* il ricomparire periodico e uniforme di *tutti* gli astri, i quali tramontando in occidente e *passando sotto Terra*, rinascono

(1) JUVEN. *Sat.*, XIV, 280.

in oriente; — *b)* l'analogia della Terra con gli altri astri, tutti isolati nello spazio; — *c)* i viaggi numerosi intrecciati sul globo in tutte le direzioni, come i fili di refe sopra un gomitolo, e che dappertutto hanno trovata libera la Terra. — Sono poi splendide le frasi, con le quali anche la Bibbia ci insinua queste verità. Secondo Giobbe (1) il Creatore *appendit Terram super nihilum;* secondo Davide, l'ha *vestita dell'abisso* « *abyssus, sicut vestimentum, amictus ejus* » (2).

3. — **Forma globosa.** — Che poi la Terra sia globosa o rotonda, lo persuadono i fatti seguenti:

a) L'ombra della Terra proiettata sulla Luna nelle eclissi. — L'ombra ritrae i contorni del corpo: sulla Luna L della fig. 4, l'ombra della Terra E si disegna e progredisce colla curva *mn:* e curva è dunque anche la Terra che la proietta.

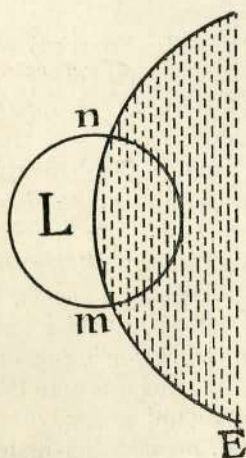



Fig. 4.

b) La deformazione delle immagini riflesse sulle grandi superfici d'acqua. — Se la Terra è rotonda, l'acqua che la riveste agirà come uno specchio *convesso* e impicciolirà, secondo determinate leggi, le immagini degli oggetti che vi si specchieranno. Forel sul lago Lemano, Riccò sul mare, hanno constatata questa alterazione.

c) Il tramontare delle stelle nella parte dalla quale ci allontaniamo. — È un fenomeno questo, che fa impressione a quanti emigrano a terre lontane. Man mano che discendono dalle nostre latitudini all'equatore vedono abbassarsi continuamente, poi lambire l'orizzonte, poi scomparire la *Polare* con le altre stelle vicine. Se la Terra fosse piana, essendo, quasi *nulle* le sue dimensioni in confronto delle distanze delle stelle, queste conserverebbero costante la loro altezza su di noi.

d) La progressione del giorno e della notte. — Se la Terra fosse piana, basterebbe l'apparire del Sole da una parte per farne scorrere il raggio fino all'estremo opposto: se questo non è, vuol dire che i raggi, con l'alzarsi del Sole, lambiscono successivamente gli archi di una superfice convessa.

f) Il modo col quale ci appaiono gli oggetti che si avvicinano. — Se una persona dalla spiaggia osserva una nave proveniente dall'alto mare, vede prima apparire la cima dell'alberatura, poi le parti

(1) Job. XXVI, 7.
(2) *Ps.* CII, 6.

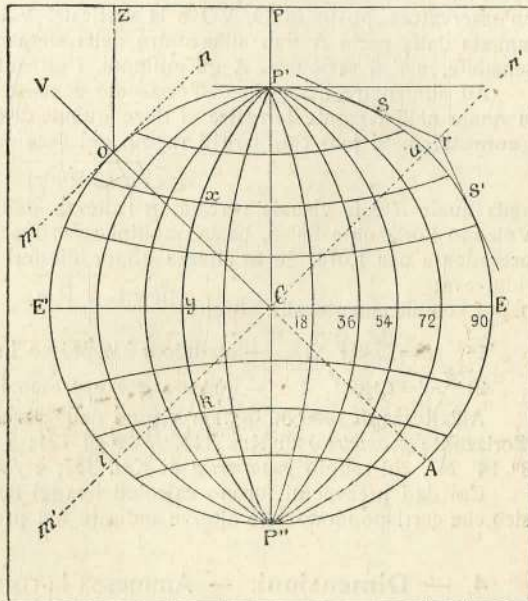
medie, poi lo scafo. La barca dunque si mostra gradatamente, ossia *si innalza* sopra il nostro orizzonte, perchè si muove lungo una curva.

g) I viaggi di circumnavigazione. — Se la terra è rotonda, navigando sempre in una direzione, si dovrà ritornare al punto di partenza giungendovi *dalla parte opposta.* Questo difatti il pensiero di Colombo: *buscare* l'oriente per la via d'occidente. — Magellano, dirigendosi verso l'occidente, intraprese per il primo un viaggio di circumnavigazione. Ucciso dai selvaggi nell'isola di Matan, ebbe successore Sebastiano del Cano, che ricondusse la spedizione dalla parte di oriente ed ottenne da Carlo V uno stemma col globo e con la iscrizione: *Primus circumdedisti me.* (10 agosto 1519 - 4 settembre 1522).

g) L'orizzonte che *aumenta* sempre circolarmente col crescere dell'altezza dell'osservatore. — In qualunque punto della Terra, salendo una torre, una montagna, ecc. si vede la circonferenza, che termina l'orizzonte, abbassarsi (*depressione* dell'orizzonte) ed ingrandire; ora la sola sfera ha la proprietà di presentarsi come un cerchio da qualunque punto la si guardi (Galileo); dunque, ecc. — Nella fig. 5 si supponga un osservatore che da *u* salga in *r;* spingerà lo sguardo sopra un cerchio di raggio *rs, rs':* salga in *n'* ed arriverà con lo sguardo fino al punti P' E. Portato a maggiori altezze, abbraccerebbe tutto l'emisfero O*u*A, come appunto facciamo noi con la Luna, col Sole ecc.

Fig. 5.

Sul Vesuvio (m. 1186) il raggio d'orizzonte è di Km. 122: sull'Etna (m. 3279) è di Km. 204; sul m. Bianco (m. 4807) è di Km. 248: sull'Everest (metri 8882) infine, di Km. 337.

Orizzonte sensibile o **terrestre** è la circonferenza che limita la superfice di Terra visibile da un dato punto: il piano che passa per questa circonferenza taglia la sfera celeste lungo una circonferenza che si può chiamare orizzonte

sensibile trasportato sulla sfera celeste. — Su il centro della terra conduciamo un piano parallelo a quello dell'orizzonte sensibile: esso taglia la sfera celeste lungo una circonferenza che si chiama **Orizzonte razionale** o **astronomico.** Questo orizzonte si può considerare coincidente con l'orizzonte sensibile portato sulla sfera celeste, perchè la loro distanza di un raggio medio terrestre è trascurabile in confronto delle distanze celesti. — **Verticale** è la retta normale alla superfice della Terra in un dato punto. La si segna col *filo a piombo,* e prolungata dalle due parti fino all'incontro della sfera celeste, vi determina due punti, che si chiamano rispettivamente, con voci arabe, **zénith** (sopra l'osservatore) e **nadir** (sotto l'osservatore) e sono i poli dell'orizzonte. — **Antipodi** sono due paesi che hanno latitudine eguale e contraria e differiscono di 180° in longitudine: **antéci** due paesi *sul medesimo meridiano* e con latitudine uguale e contraria: **periéci** due paesi *sul medesimo parallelo,* a 180° l'uno dall'altro. — Nella figura medesima per un'osservatore posto in O, VO è la verticale, V lo *zenith,* l'estremità VA (prolungata dalla parte A fino all'incontro della sfera celeste) il *nadir, mn* l'orizzonte sensibile, *m'n'* il razionale, A gli antipodi, *i* gli anteci, *u* i perieci.

Ad aumentare il raggio dell'orizzonte concorre la rifrazione atmosferica, per la quale nell'orizzonte terrestre si deve quindi distinguere l'orizzonte **fisico** dal **geometrico.** Si può calcolare il raggio del secondo con la formula:

$$d=\sqrt{a\ (2\,R+a)}$$

nella quale d è la visuale cercata, a l'altezza dell'occhio, R il raggio terrestre. Volendo l'orizzonte fisico, basta moltiplicare il secondo membro della formula precedente per 1,074. Se le altezze sono inferiori ai 10 Km. la formula si può ridurre a:

$$d=\sqrt{2\,R\,a}$$

o più semplicemente alle altre:

1ª $d=3833\sqrt{a}$ — quando a è espresso in metri;

2ª $d=121{,}2\sqrt{a}$ — quando a è espresso in chilometri.

All'altezza di 1000 m. la depressione dell'orizzonte è di 1° 1′ 24″ con un raggio d'orizzonte *geometrico* di Km. 113, *fisico* di 121; a 10000 m. la depressione è di 3° 14′ 24″, col raggio *geometrico* di Km. 357, e *fisico* di 383 (Marinelli-Porro).

Coi dati precedenti furono calcolati i raggi degli orizzonti geometrico e fisico che corrispondono alle altezze indicate nel prospetto della pagina seguente.

4. — **Dimensioni.** — Ammessa la rotondità della Terra, non fu difficile trovare il modo di determinarne le dimensioni. — Si supponga (fig. 5) di conoscere la lunghezza dell'arco che separa O da P′ e di conoscere il valore dell'angolo OCP′ formato dal prolungamento delle due verticali OV, P′P: dividendo la lunghezza dell'arco per il numero dei gradi dell'angolo, si otterrà il valore di *ciascun* grado, e questo, moltiplicato per 360, darà la lunghezza della intera *circonferenza,* donde poi la *superfice* e il *volume* della sfera. Per risolvere *geometricamente* il problema delle dimensioni terrestri, non occorre adunque che la misura del grado, e questa, tra gli antichi, fu appunto Eratostene, bibliotecario della celebre Accademia di Alessandria (279-195 a. C.), che tentò di ottenerla.

Nella fig. 6 si suppongano S il Sole, e *ye* e *xd* due aste verticali (gnomoni) in due luoghi di eguale longitudine e di latitudine

Altez.	Ragg. Oriz. Geometrico	Ragg. Oriz. Fisico	Altez.	Ragg. Oriz. Geometrico	Ragg. Oriz. Fisico	Altez.	Ragg. Oriz. Geometrico	Ragg. Oriz. Fisico	Altez.	Ragg. Oriz. Geometrico	Ragg. Oriz. Fisico
metri	metri	metri	metri	metri	metri	metri	metri	metri	metri	metri	metri
1	3570	3834	10	11288	12123	100	35696	38337	1000	112886	121244
2	5048	5421	20	15964	17145	200	50482	54218	2000	159651	171463
3	6183	6640	30	19552	20998	300	61828	66402	3000	195539	210010
4	7139	7667	40	22576	24246	400	71394	76676	4000	225798	242305
5	7982	8572	50	25241	27109	500	79821	85727	5000	252460	271138
6	8744	9391	60	27650	29695	600	87440	93910	6000	276567	297030
7	9444	10037	70	29866	32076	700	94446	101435	7000	298738	320841
8	10096	10843	80	31928	34290	800	100967	108333	8000	319377	343013
9	10709	11501	90	33865	36371	900	107092	115014	9000	338764	363833

diversa. Se il Sole a mezzodì è allo zenith di *e*, lo gnomone *ey* non darà ombra; la darà invece lo gnomone *dx* in *d*, dove dalla obliquità *xa* dei raggi, ossia dalla lunghezza dell'ombra, si potrà dedurre l'angolo che le verticali passanti per gli gnomoni faranno al centro della Terra.

Stante la distanza del Sole, i due raggi *Sx* ed *Sy*, al loro arrivo sulla Terra si considerano come paralleli: in tal caso la *xd* è una retta che cade sopra due parallele, e l'angolo *axd* del raggio collo gnomone è eguale all'angolo che i due gnomoni prolungati fanno tra loro al centro della Terra.

Si suppongano ora Syene (la moderna Assuan) in *e*, ed Alessandria in *d*. Eratostene aveva sentito dire che in Syene, nel giorno del solstizio d'estate, a mezzodì i corpi non davano ombra: misurò egli adunque in quel giorno l'ombra che a mezzodì lo gnomone dava in Alessandria, e conoscendo la distanza lineare tra le due città, (cinque mila stadi circa, secondo i viaggiatori di quel tempo) ne dedusse il valore del grado, che fece, secondo alcuni, di m. 110775, ossia di soli 25 m. inferiore al valore che (a 28° di latitudine) gli attribuiscono le misure moderne. La misura di Eratostene contiene incertezze ed errori; *incertezze*, non conoscendosi lo stadio adottato: *errori*, avendo Eratostene fatta di 7° 12′ e non di 7° 5′ 30″ la differenza di latitudine tra le due città, e supposte Alessandria e Syene sul medesimo meridiano, mentre Alessandria è di 2° 57′ 43″ più ad W: come primo tentativo è però opera di altissimo valore, meritamente ammirata, e del resto non superata che dalle misure moderne [1].

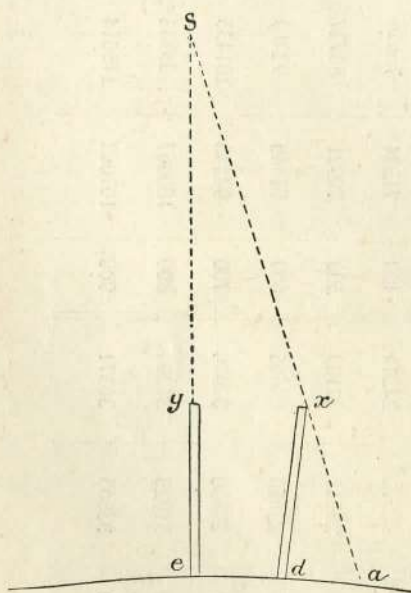



Fig. 6.

---

[1] Posidonio, filosofo greco, maestro di Cicerone ed amico di Pompeo, morto in Rodi circa l'anno 80 av. C., tentò di calcolare le dimensioni della Terra per mezzo della stella Canòpo (α Navis Argo); ma la sua determinazione riuscì inferiore per esattezza a quella di Eratostene. Se si fa la media tra il valore di Eratostene (252000 stadi) e quello di Posidonio (180000) cioè 216000 stadi, si trova che questo valore medio si avvicina molto al vero. Ridotto in chilometri (ponendo certo il valore dello stadio), risulterebbe di Km. 39953,5, che differisce dal vero (40000) di 46,5 chilometri.

Nelle misure moderne, per suggerimento di Snellio (1591-1626) si determina la grandezza della Terra coprendone alcune aree con una rete di triangoli, i lati dei quali, meno il primo *(base)* e l'ultimo (per controllo), si ottengono non direttamente con misure sul suolo, troppo facilmente erronee e talvolta impossibili, ma col *teodolite* per mezzo delle visuali. Si veda, ad es., l'applicazione di questo metodo sulla Lombardia (fig. 7). Si misurò nel 1788 sulle *brughiere* di Gallarate la distanza (metri 9999,54) tra due punti prescelti; da questi due punti si diressero le visuali a un terzo punto (Busto Arsizio), e col valore degli angoli formati dalle *visuali* con la *base*, si *risolse* il triangolo, ossia si ottenne la lunghezza degli altri due lati. Questi si adoperarono alla loro volta come *basi* di nuove triangolazioni; queste di altre, finchè, creata una rete di *punti trigonometrici* (i vertici dei triangoli) su tutta la Lombardia, non fu poi difficile dedurre da essi la lunghezza della *Meridiana* passante per il Duomo di Milano, sulla quale i diversi gradi di latitudine si vennero in seguito determinando con osservazioni astronomiche, che tosto conosceremo. — La base di Gallarate venne assicurata nel 1833 col collocamento di due piramidi di granito alle sue estremità. Misurata di nuovo nel 1878 (m. 9999,40), fu usata con quella di Udine, Pisa, Roma, Foggia, Castelvolturno, Lecce e Crati per il nuovo rilievo della Carta d'Italia compiuto dall'Istituto Geografico Militare di Firenze.

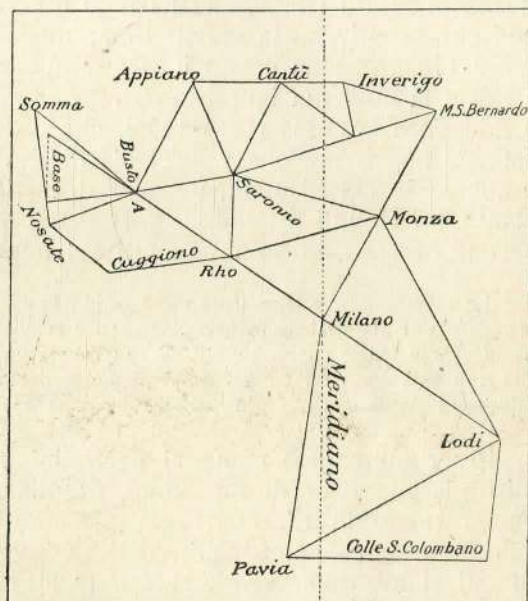



Fig. 7.

I lavori per la triangolazione d'Italia furono iniziati nel 1862 e dopo il 1900 se ne cominciò la revisione per conferirle la precisione voluta dalla Geodesia moderna.

La stazione geodetica fondamentale è M. Mario (Roma) e il punto di partenza è segnato nell'interno di quell'osservatorio su una lastra di bronzo fissa al pavimento sulla quale sono incise le parole:

« *Punto geodetico fondamentale. — Monte Mario. Origine delle longitudini italiane* ».

La fig. 8, riprodotta per gentile concessione della R. Commissione geodetica Italiana, rappresenta tutta la rete geodetica fondamentale compresi anche i collegamenti al continente della Sardegna, delle Isole Curzolari e dell'Albania, e quelle dell'isola di Malta e della Tunisia alla Sicilia.

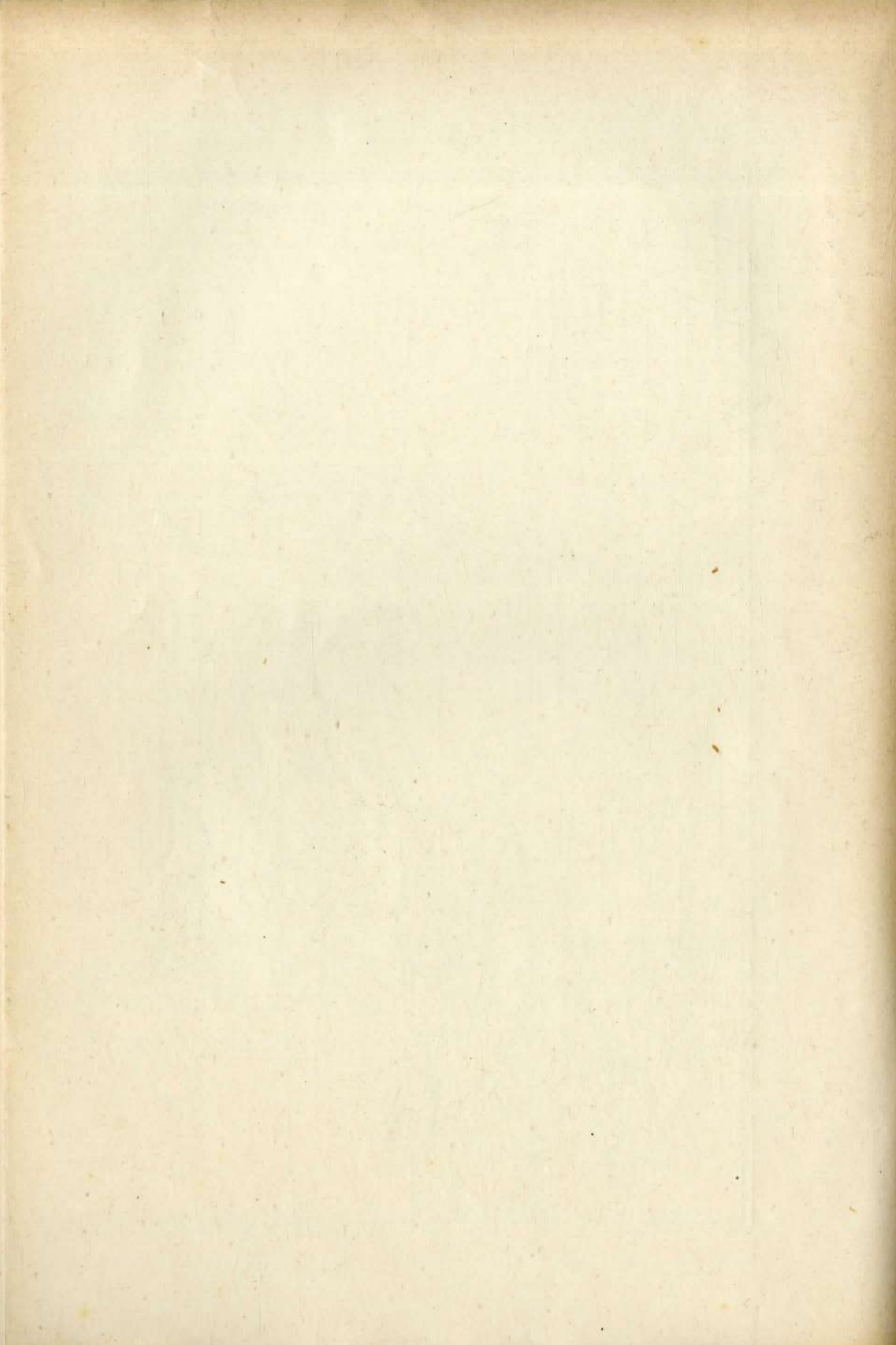
Numerose triangolazioni si fecero sulla Terra. Tra queste celebre quella di Picard (1669), che ha dato a Newton gli elementi dei calcoli che scoprivano la gravitazione; quella di Méchain e Delambre (1792-1798), che ha creato il *metro;* quella di Arago e Biot (1806-1808) e la moderna intitolata del *grado europeo,* ecc. D'alto valore e grandiosa la russa (1816-1855), che dalle bocche del Danubio si estende fino a Fuglenacs nell'isola di Kvalö presso il Capo Nord, e abbraccia 258 triangoli, un arco di meridiano di 25° 29′ e una distanza, tra i punti estremi, di km. 2831,790 con un errore probabile, secondo Struve, di solo 15 metri sul totale.

Le misure geodetiche vanno crescendo in esattezza col perfezionarsi della tecnica e del materiale scientifico. Oggi per la costruzione degli strumenti sono usate alcune leghe speciali, quali ad esempio l'*invar* (63,8°/₀ Fe; 36°/₀ Ni; 0,2°/₀ C) che non subiscono dilatazioni sensibili per variazioni non troppo forti di temperatura. In tal maniera la precisione delle misure è di molto accresciuta.

Per comprendere come si determini con osservazioni astronomiche la latitudine di un luogo, ritorniamo alla fig. 5. Un osservatore posto in E′, come già abbiamo notato, vedrà la *Polare* all'orizzonte: cammini sull'arco E′OP′ verso P′, e a ogni *grado* di cui si avanzerà, vedrà la *Polare* alzarsi di un grado sul suo orizzonte: arrivato in O, avrà la *Polare alzata* sull'orizzonte della quantità PCn′: questo angolo, che si chiamerà l'*altezza polare* di O, è quello che misura la latitudine di O, ossia la sua distanza dall'equatore. Difatti: la latitudine di O non è che la lunghezza dell'arco E′O, o, in altri termini, l'angolo E′CO, il quale addizionato coll'angolo OCP′ forma un retto: ma anche l'angolo PCn′ addizionato con OCP′ forma un retto: dunque è E′CO = PCn′. — **L'altezza polare** di un luogo è dunque l'arco di meridiano P′*u* compreso tra il polo P′ e l'orizzonte *nn′* ivi visibile: misurare di questo luogo la latitudine equivale a misurare l'altezza polare, e questo, come è facile comprendere, si potrà fare con un canocchiale mobile sopra di un cerchio graduato disposto verticalmente nel piano del meridiano.

Questa determinazione è molto più delicata di quanto sulle prime si possa pensare, ed esige ripetute misure per sopprimere, o almeno per diminuire gli errori *personali* (letture degli archi, *equazione personale* o diversa sensibilità delle

RETE GEODETICA ITALIANA
Limite delle reti geodetiche parziali
Stazioni astronomiche fondamentali
Basi geodetiche
Nuovo progetto di collegamento della Sardegna al continente
SVIZZERA
FRANCIA
DALMAZIA
ALBANIA
AFRICA
Base d'Udine
Base di Somma
Rete di raccordamento
Base di Piombino
Base di Foggia
Base di Ozieri
Base di Lecce
Base del Crati
Base di Catania
TRIESTE
MILANO
VENEZIA
PARMA
BOLOGNA
FIRENZE
LIVORNO
ROMA
NAPOLI
CATANIA
Scala approssimativa
1: 5.000.000

Fig. 8.

retine, ecc.), o *istrumentali* (graduazioni errate, flessione del canocchiale, ecc.). In essa si usano però abbondantemente anche le altre stelle, oltre la *Polare*: è evidente difatti che una stella in V, allo zenith di O, potrebbe servire a determinare l'angolo VCP, complementare di VCE', e che quindi 90° — VCP sarebbe la latitudine di O.

Attorno all'asse PC e con l'angolo dell'altezza polare PC*n'* si descriva un cono con la C*n'*: la base di questo cono sulla volta celeste comprenderà tutte le stelle di *perpetua apparizione* per il punto O, ossia comprenderà tutte le stelle che saranno sempre visibili in O in qualunque ora della notte. Tali per chi è a 45° di latitudine Nord, le stelle delle costellazioni di *Cassiopea, Dragone*, ecc. Dell'*Orsa*, p. es., dopo Omero, tutti i poeti hanno notato - che è *dai lavacri del mar sola* (1) *indivisa*, e Dante - che *al volger del temo non vien meno* (2). — Attorno all'altro polo una calotta, perfettamente simmetrica a questa delle stelle di perpetua apparizione, raccoglierà invece le stelle che *non appariranno mai* sull'orizzonte di O.

5. — **Globi e Carte.** — Misurata la Terra come rappresentarla? In due modi: coi *globi* e con le *carte*.

I *globi* non sono che sfere, sulle quali il disegno riproduce le configurazioni che la Terra presenta. I globi sono di grande utilità, perchè, *riducendo con la medesima proporzione* tutte le diverse parti della Terra, ne permettono un giudizio esatto; hanno però lo svantaggio di essere costosi, incomodi e non mai capaci di minute particolarità. Un globo di dimensioni considerevoli fu quello al *milionesimo* presentato all'Esposizione di Parigi del 1889, con m. 12,73 di diametro e 40 di circonferenza. Il km. vi era rappresentato da un millimetro; Parigi quasi da un centimetro quadrato.

Le *carte* rappresentano la superfice della Terra sopra un piano; e siccome questo non si può ottenere senza alterare i rapporti fra le varie dimensioni, si sono immaginati numerosi i metodi di rappresentazione, per alterare il meno possibile le dimensioni, che a seconda dei casi, possono più interessare. Questi trasporti dei meridiani e dei paralleli della sfera terrestre sopra di un piano si chiamano **proiezioni** e si dividono in tre classi: *a)* **prospettiche**, *b)* **convenzionali**, *c)* **per sviluppo**.

Hanno speciale importanza tra le *convenzionali* la **omalografica** di Mollweide, che conserva nella carta la proporzione relativa che le aree hanno sul globo: tra le *prospettiche* la *ortografica*, la *stereografica* e la **globulare**: tra quelle di sviluppo quella di Mercator: parleremo soltanto di questa ultima.

La *proiezione*, ideata nel 1556 da Gerardo Kremer detto Mercator, (1512-1594) e perfezionata da Edoardo Wright nel 1594 è talvolta indicata come di Delisle per l'uso che questo astronomo ne fece nella carta dell'impero russo nel 1745.

---

(1) *Il.*, trad. Monti, XVIII, 679.
(2) *Parad.*, XIII, 9.

Per meglio chiarirla premettiamo che le **proiezioni per sviluppo** si ottengono sviluppando superfici *tangenti* alla sfera o *penetranti*, e comprendono quelle che sono generate dal cilindro e quelle che hanno origine dal cono; di qui la divisione in *cilindriche* e *coniche*. Alle prime appartengono le carte *piane* e le carte *ridotte*. Le piane si distinguono in *quadrate* e *parallelogrammatiche*. Nelle *quadrate* si immagina il cilindro circoscritto alla sfera lungo la circonferenza dell'equatore; in esse i gradi di latitudine e di longitudine si fanno uguali al grado equatoriale, così che la rete risulta di quadrati eguali. Nelle *parallelogrammatiche* si immagina un cilindro penetrante, la cui sezione circolare coincida col parallelo medio della zona che si vuole rappresentare; in esse i gradi di latitudine sono eguali al grado che corrisponde al parallelo medio, così che la rete risulta di rettangoli più o meno allungati secondo la latitudine del parallelo medio. Nella proiezione *cilindrica equivalente* di Lambert, detta pure *isocilindrica*, si immagina un cilindro tangente alla sfera lungo la linea equinoziale, e si estendono i piani dei meridiani e dei paralleli sino al loro incontro con la superficie cilindrica, i meridiani secondo linee rette, i paralleli secondo circonferenze uguali. Questa proiezione non si adopera che per le regioni equatoriali.

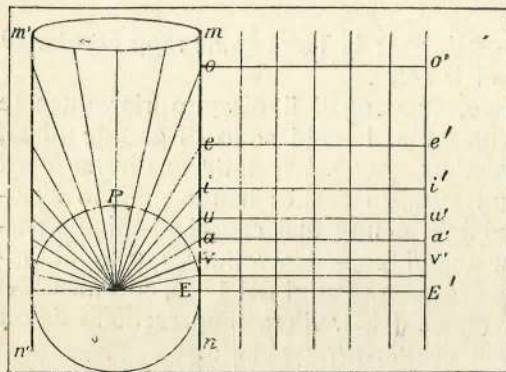



Fig. 9.

Nella proiezione *cilindrica centrale* (vedi fig. 9) si suppone l'occhio dell'osservatore nel centro della sfera e si proiettano i diversi punti della superficie terrestre sulla superficie del cilindro tangente alla sfera.

Ciò premesso considereremo come una proiezione cilindrica ridotta la *proiezione di Mercator*. Il cilindro è circoscritto alla sfera lungo l'equatore e lo si sviluppa sopra un piano. Le tracce dei piani meridiani sulla superfice del cilindro sono rette parallele, le cui distanze sono quelle stesse che dividono, sulla circonferenza dell'equatore, i meridiani terrestri. Le tracce dei paralleli formano una seconda serie di rette perpendicolari alle tracce dei meridiani, le cui distanze dall'equatore vanno sempre più aumentando coll'aumentare delle latitudini, e in modo da soddisfare alla condizione che *due linee qualunque*

tracciate sulla carta facciano tra loro il medesimo angolo sotto il quale s'incontrano le due curve sferiche da esse rappresentate.

Diamo una tavola in cui sono indicate le distanze dei paralleli dall'equatore di 5 in 5 gradi, supponendo la Terra sferica e il suo raggio eguale ad 1.

Latit.	Distanze.	Latit.	Distanze.
5° . . .	0,0874	50° . . .	1,01
10° . . .	0,1754	55° . . .	1,1542
15° . . .	0,2648	60° . . .	1,3170
20° . . .	0,3564	65° . . .	1,5065
25° . . .	0,4509	70° . . .	1,7354
30° . . .	0,5493	75° . . .	2,0276
35° . . .	0,6528	80° . . .	2,4362
40° . . .	0,7629	85° . . .	3,1313
45° . . .	0,8814	90° . . .	infinita

Come si vede, la grandezza delle regioni poste sotto alte latitudini non è punto proporzionata alla grandezza delle regioni prossime all'equatore. Non ostante questo difetto ed altri, il vantaggio che questa proiezione procura alla navigazione è immenso. La *curva* infatti detta *lossodromica* o *lossodromia,* che ha la proprietà caratteristica di tagliare sotto il medesimo angolo tutti i meridiani della sfera (o di un'ellissoide di rivoluzione), viene rappresentata come una linea retta che interseca sotto il medesimo angolo le rette che rappresentano nella proiezione le curve meridiane. Essendo precisamente una curva lossodromica la traiettoria che una nave percorre in una determinata direzione, di grandissimo vantaggio sono queste carte, nelle quali la linea che unisce il punto di partenza con quello di arrivo è rappresentata da una retta. Il pilota non fa che girare il bastimento finchè ottiene che la *linea di fede* (retta che sulla bussola vi segna la direzione dell'asse del bastimento) faccia coll'ago magnetico un angolo eguale a quello che la lossodromica fa coi meridiani [1].

6. — **Rigonfiamento equatoriale.** — Fin qui noi abbiamo supposto la Terra perfettamente sferica, e sferica venne creduta difatti fino alla metà del secolo XVII; le misure moderne però hanno dimostrato che non è tale, ma che invece presenta uno schiacciamento ai poli ed un rigonfiamento all'equatore. A persuadercene valgano le prove seguenti:

---

[1] HUGUES, *Geogr. Astr. e Fisica.*

Torniamo anzitutto un'altra volta alla fig. 5, pag. 19 e supponiamo ancora di salire dall'equatore al polo, camminando sull'arco E'OP'. Se la Terra fosse *perfettamente* rotonda, avanzandoci di quantità eguali, vedremmo la *Polare* alzarsi di quantità eguali: ora, per ottenere l'innalzamento di *un grado* nell'astro, all'equatore bisogna percorrere m. 110563, a 45° m. 111132, a 85° m. 111698: la calotta polare appartiene adunque ad una curvatura *meno pronunciata* che non la zona equatoriale, o, in altri termini, l'equatore presenta un rigonfiamento. — Per vero le prime misure francesi (1680-1718) avevano per un momento fatto credere il contrario e suggerito (Cassini e D'Anville) di rassomigliare la Terra piuttosto a un limone che non a un arancio; le misure più esatte di Bouguer e De La Condamine (1735) al Perù, di Maupertuis e Clairault (1736) nella Lapponia cancellarono però ben presto l'errore, e da quel giorno lo schiacciamento polare venne considerato come una delle verità più sicuramente conquistate dalla scienza.

Anche il pendolo però, prima delle misure trigonometriche, aveva insinuata e dimostrata la cosa. — Premettiamo: *a)* la forza motrice del pendolo è la gravità, o meglio una frazione della gravità, ed il pendolo quindi è ricondotto tanto più rapidamente alla sua posizione di equilibrio, quanto più è intensa la gravità; — *b)* la *durata* delle oscillazioni del pendolo è in ragione diretta della radice quadrata della sua lunghezza $\left(t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}\right)$, sicchè, per ottenere la *stessa durata* delle oscillazioni in luoghi di *gravità diversa,* si potrà trovare l'elemento di compenso nella *lunghezza* del pendolo, *raccorciandola* dove *diminuisce* la gravità; — *c)* la gravità, ossia la risultante di tutte le attrazioni delle singole particelle che formano la Terra, agisce come se fosse applicata nel centro della Terra, e varia nella sua intensità *in ragione diretta del raggio* (fatta eccezione per i primi strati della superfice) penetrando nella Terra; *in ragione inversa del quadrato delle distanze* partendo dalla superfice e allontanandoci negli spazi. Bastano, secondo Fischer, m. 122, secondo Hann, m. 119 di variazione nella distanza dalla superficie terrestre per ottenere la variazione di *una* oscillazione in un pendolo a secondi nel periodo di 24 ore. Portate un orologio col pendolo a secondi, dal suolo sul S. Pietro di Roma (m. 132), e ritarderà più di *un* secondo al giorno; portatelo sulla torre Eiffel (m. 300), e ritarderà *cinque* secondi ogni due giorni.

Or bene: un pendolo a secondi, regolare alla latitudine di 45°, *accelera* salendo verso il polo, *ritarda* discendendo all'equatore, sicchè per essere conservato isocrono deve assumere:

a 0° la lungh. di m.	0,990968	donde, a 0° l'acceleraz.	g=m. 9,78046
» 45° »	0,993588	» 45°	g= » 9,80632
» 90° »	0,996222	» 90°	g= » 9,83232

Un pendolo, che al Polo in 24 ore dà 86242 oscillazioni, all'equatore non ne darebbe invece che 86017.

Un grammo alla superficie del mare, peserebbe *mezzo* milligrammo di meno all'altezza di 2000 metri (1).

Che dedurne? Che andando dal polo all'equatore ci *allontaniamo* dal centro e quindi, che la Terra è rigonfia all'equatore, depressa al polo. Le prime ricerche con questo metodo si devono al Richer mandato per osservazioni da Parigi a Cayenna nel 1672; a Cayenna dovette accorciare il pendolo di mm. 2,82. Molte altre in seguito ne furono fatte e tutte hanno confermato, e talvolta anche corretto, i risultati che già con le misure trigonometriche si erano ottenuti.

Prove dello schiacciamento polare ne hanno fornite anche gli astri. Nei pianeti difatti, come vedremo, la ineguaglianza dei diametri è comune: per analogia è dunque lecito conchiudere che tale ineguaglianza la presenterà anche la Terra. — Inoltre, se la massa della Terra non è uniformemente distribuita attorno al suo centro, se ne dovranno risentire gli effetti in alcune ineguaglianze che la Luna presenterà nel suo corso. Secondo i calcoli di Laplace (1749-1827) tali ineguaglianze si presentano appunto, ed il loro valore conferma quanto già gli altri metodi hanno dimostrato.

7. — **Alcuni valori numerici.** — Chiamando a il raggio equatoriale e b il polare, $\frac{a-b}{a}$ sarà il valore dello schiacciamento terrestre. A questo rapporto si assegnarono successivamente i valori di:

$^1/334$	da Delambre e Méchain (misure geodetiche);
$^1/306$	da Laplace (ineguaglianze lunari);
$^1/299$	da Bessel (misure geodetiche);
$^1/293$	da Clarke (misure geodetiche);
$^1/292 \pm 1$	da Faye (osservazioni col pendolo);
$^1/292{,}2 \pm 1{,}5$	da Faye (osservazioni col pendolo).

Le esperienze col pendolo avevano dato valori oscillanti tra $^1/288$ e $^1/293$.

Il valore adottato presentemente è quello della *Conferenza internazionale delle Effemeridi astronomiche* (Parigi, 1911), cioè $^1/297{,}0$.

(1) Rodt. II, pag. 30.

Diamo alcuni dei diversi valori ottenuti per l'ellissoide terrestre:

Ellissoide di Bessel (1841):

a=m. 6377397,15; b=m. 6356078,96; $c = \frac{1}{299,1528}$

Ellissoide di Clarke (1880):

a=m. 6378249,2; b=m. 6356515,0; $c = \frac{1}{293,466}$

Ellissoide di Helmert (1907):

a=m. 6378200,00; b=m. 6356818,17; $c = \frac{1}{298,3}$

Ellissoide di Hayford (1909):

a=m. 6378388; b=m. 6356909; $c = \frac{1}{297,0}$

Dall'ellissoide di Clarke, adottato dal *Servizio Geografico dell'Armata francese* per i suoi nuovi lavori, si ha:

Quarto del meridiano ellittico	m. 10001868
Lunghezza media dell'arco di 1 grado del meridiano	m. 111131,9
Circonferenza equatoriale	m. 40075721
Superfice in chilom. quadrati	510065 $\times 10^3$
Volume in chilom. cubi	1083205 $\times 10^6$
Raggio di una sfera avente lo stesso meridiano della Terra	m. 6367387
Raggio di una sfera avente la stessa superfice di quella della Terra	m. 6371003
Raggio di una sfera avente lo stesso volume di quello della Terra	m. 6370996

Per formarvi l'idea della Terra, immaginate che in un globo di *un* metro di diametro, sul quale la vetta più alta (Everest, 8882 m.) assumerebbe l'altezza di meno che $^3/_4$ di millimetro, lo schiacciamento polare sia rappresentato da 2 mm. circa.

La cognizione della forma della Terra è ben lontana dall'essere perfetta, ed hanno discusso il problema Listing, Bruns, Faye, ecc. A pari latitudine il pendolo si muove più rapidamente nelle isole che sui continenti, e tale aumento di gravità, riferito dai primi ad una depressione degli oceani, dal terzo ad un forte spessore della crosta terrestre sottoceanica, da non pochi lo si vuole interpretare

come un dubbio sulle misure geodetiche eseguite fin qui [1]. — Si aggiunga che dell'emisfero australe possediamo poche misure, nessuna anzi che si spinga al di là del 38° di latitudine; sicchè la simmetria dei due emisferi è dunque soltanto *probabile* per *analogia*, non certa. — Anche i diversi archi misurati nell'emisfero nord non s'accordano, secondo Schubert e Clarke, con un equatore perfettamente circolare, ma piuttosto ne impongono uno ovale. Secondo Clarke il massimo diametro equatoriale sarebbe diretto da 15° 34′ a 195° 34′ a levante di Greenwich, il minimo da 105° 34′ a 285° 34′; e il raggio massimo sarebbe di m. 6378294, col minimo di m. 6376350. — Seguitiamo dunque pure a considerare la Terra come un ellissoide di rivoluzione: ricordiamo però che la superficie di questo ellissoide presenta anomalie numerose, la determinazione delle quali costituisce non solo un problema di geometria, ma ancora un problema complesso di fisica, di meccanica e di astronomia.

Al campo di forze determinato dalla gravità, corrispondono delle superfici di livello che gli sono costantemente normali. La superficie determinata dal livello medio dei mari è una superficie di livello particolare, che riceve il nome di **geoide**. Il geoide è molto vicino all'ellissoide terrestre, ma non coincide con esso, e non è suscettibile di una definizione matematica semplice.

Per quanto riguarda l'Italia, la differenza tra il geoide e l'ellissoide è stata accuratamente studiata dal Prof. *Reina* lungo il *primo meridiano d'Italia passante per Monte Mario a Roma*. Il Reina ha risalito questo meridiano attraverso l'Appennino giungendo alla conclusione, altrettanto importante quanto inattesa, che *nei passaggi appenninici il geoide si abbassa al disotto dell'ellissoide*. Ciò mostra come al di sotto dell'Appennino vi sia deficienza di materie dovuta probabilmente a cavità sotterranee. Vengono così spiegati i *terremoti tettonici*, che purtroppo frequentemente hanno il loro epicentro nelle regioni appenniniche, e che sembrano dovuti a franamenti sotterranei in relazione a deficienti condizioni di equilibrio [2].

---

[1] Sulle anomalie del pendolo e della verticale vedasi una nota dello Schiaparelli, letta alla *Società di scienze naturali* il 1° marzo 1896 e poi pubblicata sulla *Rivista Geografica Italiana*, n. 5, 6, 7 del 1860. Sulle anomalie della gravità in Europa v. G. Costanzi sulla *Rivista di Fisica, Mat., Sc. Nat.*, febbraio-maggio 1910.

Sulla deviazione della verticale avrà influenza anche la pressione Atmosferica, che farà abbassare o sollevare la crosta terrestre come le onde del mare; vedasi in proposito una nota importante del Darwin, riassunta *Cosmos*, XXXV, p. 383; n. del 24 ottobre 1896

[2] Vedi anche G. Costanzi.

CAPITOLO III.

MOVIMENTI DELLA TERRA

---

1. — **Rotazione diurna.** — Conosciuta almeno approssimativamente la forma della Terra, ce ne restano da dimostrare e studiare i diversi movimenti, primo dei quali il **diurno,** che al nostro globo fa compiere una rotazione intorno al proprio asse in 24 ore. Distingueremo in due classi le prove di questo movimento:

I. — *Prove prevalentemente qualitative:*

a) Noi vediamo tutti gli astri ogni giorno nascere in oriente, percorrere un arco sul cielo, poi scendere a tramontare in occidente. Il fatto non si può spiegare che in due modi: — o ammettendo che realmente questi astri descrivano orbite chiuse intorno alla Terra, — o ammettendo invece che la Terra compia una rotazione sopra se stessa. Di queste due ipotesi solo la seconda è ammissibile, perchè la prima, contro ogni legge di probabilità, di economia e di meccanica, per risparmiare *una semplice rotazione* — ad *un astro solo* — di *dimensioni meschine* — è costretta a muovere *concordi, in orbite di raggi diversissimi,* — con *velocità inaudite* — *tutti* gli altri astri — di *moli immense* — animando di *velocità più grandi i più lontani.* Le leggi di Newton e la 3ª di Keplero (che presto conosceremo) sono qui troppo offese. Anche gli antichi, almeno in parte, avevano previsto lo scoglio, e, per evitarlo, si erano indotti a *fissare,* come abbiamo detto, tutte le stelle su una sfera solida, che le moderne scoperte hanno fatto cadere.

b) La Terra (l'abbiamo dimostrato) è rigonfia all'equatore: perchè? Ammettendo, come insegnano geologia e astronomia, uno stato primitivo di fluidità per il globo, siffatto rigonfiamento equatoriale,

non sarebbe più che conseguenza — e poi prova — della forza centrifuga sviluppata colla rotazione diurna. Solo partendo da questo concetto, Newton e Huygens avevano ammesso il rigonfiamento equatoriale, prima ancora che le misure geodetiche lo avessero dimostrato.

c) Andando dal polo all'equatore (anche questo l'abbiamo già visto) la gravità diminuisce. Ora, mentre per il solo rigonfiamento

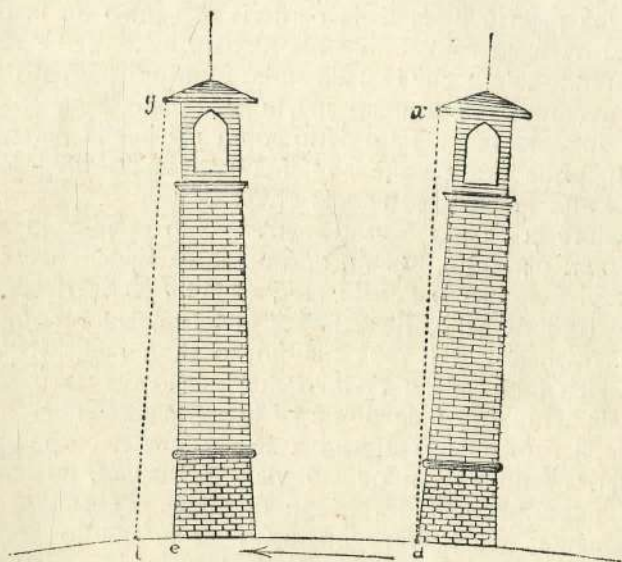



Fig 10.

equatoriale tale diminuzione non dovrebbe essere che di $^1/590$, nel fatto si trova che è ben maggiore e che giunge a $^1/194$. Ammettiamo la rotazione diurna, e la forza centrifuga conseguente, da sola, all'equatore ci darà la diminuzione di $^1/289$, valore che, addizionato al primo ($^1/590$), formerà appunto il totale di $^1/194$.

d) Se la Terra ruota attorno a se stessa, i corpi saranno animati da velocità tanto più grande quanto più si troveranno lontani dall'asse di rotazione. — Portiamoci alla fig. 10. Se *dx* è una torre trascinata da destra a sinistra, come indica la freccia, dalla rotazione della Terra, è evidente che il punto *x* per passare in *y* sarà più veloce e percorrerà un arco più lungo che non *d* per passare in *e*. Or bene si supponga che, intanto che la torre si trasporta da *xd* in *ye*, una pietra si distacchi dalla sua cima e venga a cadere a terra: da che parte cadrà? Resterebbe *in ritardo* (verso occidente) rispetto alla torre

se non sentisse altra forza che la gravità: siccome però per inerzia conserva anche la velocità di traslazione da x in y, discendendo si porterà in *avanti* (verso oriente) e andrà quindi a cadere verso l. Peraltro non arriverà al punto l, perchè la Terra continua ad attrarre la pietra verso il suo centro, producendo così una componente orizzontale verso e. Ma v'è ancora un altro spostamento in avanti, che si dimostra facilmente essere uguale al primo.

Si pensi di avere una piattaforma circolare, girevole intorno al suo asse. Una palla è tirata dalla periferia al centro (p. e. con una fune) e vi si avvicina rotolando sulla piattaforma.

Si comprende allora che la palla andrà in avanti (rispetto alla posizione che avrebbe assunto nello spazio se la piattaforma fosse stata ferma) non soltanto per il fatto detto sopra ma anche perchè, sotto di lei la piattaforma gira; perchè insomma – possiamo dire – la strada, sulla quale corre la palla, si sposta [1].

Sull'equatore la caduta è esattamente verso oriente ed ha il valore di 33 mm. per ogni 100 m. di caduta. — Esperienze sulla caduta dei gravi eseguirono l'abate Guglielmini (nel 1761 a Bologna, dalla Torre degli Asinelli), Benzenberg (nel 1802 ad Amburgo dalla Torre di S. Michele e nel 1804 nel pozzo della miniera di Schleebusch), e Reich (nel 1831 a Freiberg nel pozzo dei Trefratelli).

Lo spostamento orientale non è facile a constatarsi perchè le correnti di aria, il rotolamento attorno a se stesso del corpo che cade, la forma del terreno su cui questo viene ad urtare, possono completamente nascondere la deviazione orientale. L'esperienza era rimasta solamente qualitativa; con un metodo molto semplice il P. Hagen, attuale direttore della Specola Vaticana, ha reso la dimostrazione sperimentale della caduta dei gravi anche quantitiva. Tutti sappiamo che la macchina di Atwood consiste essenzialmente in due pesi, legati all'estremità di un filo, che passa per la gola di una puleggia fissa in alto. Se il peso maggiore si trova vicino alla puleggia, e si lascia scendere, esso cade con accelerazione minore di quando cade liberamente. Ponete alle estremità del filo dei cilindri ben torniti, fate discendere il peso maggiore da un'altezza di circa 10 metri in un ambiente chiuso, ed arrestate la macchina prima che il peso urti contro l'ostacolo: che cosa accade? Il peso discendendo ha portato con sè la sua velocità orientale, e, siccome le cause perturbatrici sono eliminate, ha trascinato verso Est il filo a cui era sospeso, e

[1] La risultante di tutti i movimenti della pietra produce uno spostamento di $^2/_3$ *el*. Questo fattore numerico fu trascurato dal Guglielmini e dall'Olbers, e non sappiamo come mai sia omesso in quasi tutti i trattati popolari. Fu dimostrato teoricamente dal Gauss, più di cento anni fa, e praticamente dagli esperimenti quantitativi esposti nelle pagg. segg. (Vedi Spec. Vatic. *Rotation de la Terre*, pag. 30).

appena arrestato nella corsa, si mette ad oscillare con una prima oscillazione da E ad O. Avreste potuto puntare un canocchialetto in direzione a N S un po' sopra al punto in cui doveva essere arrestato il peso: mettere in fuoco il filo, quando il peso si trovava in basso nella posizione di riposo. Il filo vi avrebbe indicato la direzione della verticale dentro il canocchialetto. Stando ad aspettare la caduta del medesimo peso (che naturalmente deve essere stato riportato in alto), non si vede il passaggio del peso, a causa della rapidità di discesa; ma si vede subito dopo comparire nel campo del canocchiale, il filo che non ha più la direzione verticale, osservata precedentemente: si manifesta spostato verso E. Ecco l'esperienza del P. Hagen, facile ora che è stata suggerita; ma a cui nessuno prima di lui aveva pensato, benchè lo stesso Atwood facesse le sue esperienze nel medesimo Collegio *(Trinity)* in cui Newton, il 28 novembre 1679, scrisse la sua lettera all'Hooke, nella quale esprimeva l'idea che un corpo pesante in caduta libera dovesse manifestare, oltre allo spostamento verso Est, anche uno spostamento meno pronunziato, in un'altra direzione. Molti si sono ingegnati per constatare l'esistenza di uno spostamento meridionale, ma il P. Hagen nella sua pubblicazione *La rotation de la Terre* (1), dimostra che la deviazione meridionale, se c'è, è di un'ordine di grandezza tale, che non può essere resa visibile da nessuno degli attuali strumenti di precisione.

e) Un corpo che dall'equatore salirà verso il polo, avvicinandosi all'asse di rotazione, avrà un movimento verso oriente maggiore che non i corpi che incontrerà a latitudini superiori; e conseguentemente un corpo che da alte latitudini discenderà verso l'equatore, avrà verso oriente un movimento minore di quello dei corpi che successivamente verrà ad incontrare, e, rispetto ad essi, sembrerà dunque piegare verso occidente; il primo sarà così *in anticipazione*, il secondo *in ritardo*. Gli è per questo difatti che sono obliqui sui meridiani i venti alisei e le correnti marine; che forse i fiumi diretti verso l'equatore corrodono di più la riva posta al lato di occidente; che i proiettili lanciati lungo i meridiani deviano lateralmente, ecc. — Anzi, secondo il pensiero del Vinot, non è improbabile che la rotazione della terra abbia ad influire anche sul *deraillement* dei treni lanciati alle massime velocità con rapidi spostamenti in latitudine.

f) Il movimento di rotazione venne constatato in altri astri; e l'analogia impone che lo si conceda dunque anche alla Terra.

g) Un'altra prova la possiamo dedurre dal giroscopio e dal pendolo. — Provatevi a metter ritta una trottola o un cerchio

---

(1) 1911. — Roma.

sottile: non ci riuscite; animateli di un movimento di rotazione, ed eccoli non solo reggersi da sè, ma opporre anche una certa resistenza agli urti, che li vorrebbero rovesciare. Dunque un corpo di rotazione, tende a conservare costanti asse e piano di rotazione. Applichiamo. Supponete di avere un disco, una ruota (toro) sottile nella parte centrale, ingrossata uniformemente alla periferia, appoggiata con l'asse sopra di un cerchio orizzontale, portato alla sua volta da un'altro cerchio mobile attorno al diametro verticale. Se voi animate di rotazione rapida il toro centrale e lo osservate mettendolo a riscontro con una graduazione separata, lo vedrete spostarsi, lento, lateralmente da est in ovest. Chi si sposta? Non il toro, perchè (come abbiamo detto) un corpo in rotazione mantiene costante il piano del suo movimento: dunque i corpi circostanti si spostano, ossia si sposta la Terra con i corpi che seco trascina. — L'apparato descritto si chiama *giroscopio*, e lo si deve a Leone Foucault, che nel settembre del 1852 lo presentava all'Accademia di Parigi per l'elegante esperienza.

Partendo dal medesimo principio, nell'anno precedente il Foucault aveva dimostrata la rotazione della Terra con un'altra prova non meno elegante. — Alla cupola del Pantheon di Parigi (fig. 11) egli aveva fissato un filo di acciaio di m. 68, che in basso portava una sfera del peso di Kg. 30, provvista inferiormente di una punta. Vi eresse d'intorno sul pavimento un anello di cenere, e fatto oscillare il pendolo, lo vide non urtare costantemente contro gli stessi punti dell'anello, ma passare dall'uno all'altro con perfetta regolarità nel senso delle lancette d'un orologio. Anche qui si domanda: chi si spostava? Non il pendolo, il quale mantiene costante il suo piano di oscillazione: dunque la Terra, la quale, rotando, gli veniva a presentare successivamente i diversi punti dell'anello. Nei paesi del Sud un esperimentatore vedrebbe lo spostamento del pendolo procedere in senso contrario a quello delle lancette dell'orologio, non già perchè la terra girerebbe in senso contrario, ma perchè l'orologio avrebbe cambiato faccia ([1]).

È facile indovinare che nel fenomeno ha influenza la latitudine, e infatti perchè il pendolo percorra la intera circonferenza, al polo sono necesserie 24 ore, a Milano (latitudime 45° 28′) si richiedono 33 ore e 35^{m}, al Cairo (lat. 30°) due giorni.

Conchiudeva giustamente l'Arago: « Per negare il movimento diurno, cui tante prove fisiche e astronomiche concorrono a dimostrare, bisogna negare l'evidenza ».

([1]) La prima dimostrazione di questa apparente contrarietà fu data dal P. E. F. Pigot S. J. all'Osservatorio « Riverviero » presso Sydney, Australia, nel 1917.

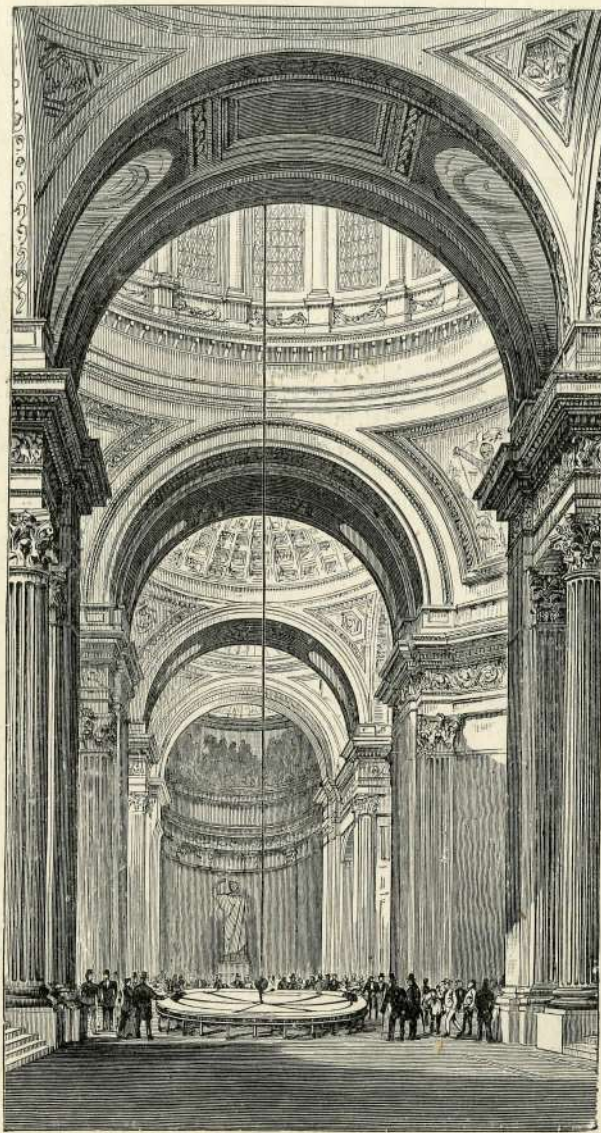



Fig. 11. — Prova del pendolo al Pantheon di Parigi

II. — *Prove quantitative:*

a) Si direbbe che questa certezza producesse un po' di stasi nella ricerca delle dimostrazioni sperimentali della rotazione della Terra, perchè dal 1860 in poi, non si fece che ripetere quanto era già stato detto e fatto. Per altro, nell'attuale rigogliosa fioritura del metodo sperimentale ci voleva anche una dimostrazione di precisione nel senso moderno della parola, cioè una dimostrazione preceduta dallo studio matematico degli strumenti usati, e del metodo seguito nelle esperienze.

Questo genere di ricerche fu inaugurato dal P. Hagen con le esperienze eseguite nella torre Leonina tra il 1908 e il 1911, e illustrate nell'opera sopra citata. Nel corso delle ricerche si pervenne alla costruzione di un apparecchio che, ridotto a dimensioni più piccole e costruito come gli apparecchi di precisione, può servire da modello nella scuola per la dimostrazione della rotazione della Terra. Attesa la sua importanza, ne diamo qui un cenno e un disegno schematico: omettiamo la teoria matematica; ma non possiamo dispensarci da alcune definizioni necessarie per comprendere il nome dato all'apparecchio.

1° Immaginiamo che il pendolo di Foucault oscilli in un piano rigido movibile con lui, e il giroscopio ruoti in un piano pure rigido che possa trasportare con sè quando sembra cambiare di posizione. Immaginiamo inoltre di applicare a questi due piani ideali delle molle delicate che premano con la loro deformazione per ricondurre i piani alla posizione iniziale quando, per la rotazione della Terra, sembravano scostarsene. Lo sforzo di queste molle, moltiplicato per la loro distanza dall'asse attorno a cui ruotano i piani del pendolo e del giroscopio, si chiama *momento di rotazione*. Si potrebbe studiare questo momento di rotazione invece dell'angolo di deviazione, misurato da Foucault.

2° Se un punto materiale A, di massa m, può ruotare attorno ad un asse distante da lui di una distanza r, il prodotto mr fu chiamato, da Eulero in poi, *momento d'inerzia* del punto A. Supponiamo che un corpo rigido possa ruotare attorno ad un asse, ognuno dei suoi punti avrà il suo momento d'inerzia, e questo corpo rigido avrà complessivamente un momento d'inerzia che rappresenteremo con M.

3° Imprimendo al corpo rigido una velocità angolare v, si può considerare come caratteristica del sistema ruotante il prodotto (area Mv) momento d'inerzia per la velocità; diciamo si può considerare come caratteristica, perchè, cambiando la disposizione delle molecole senza fare intervenire cause esterne al sistema ruotante, il momento d'inerzia assume un altro valore N, e la velocità di ruotazione si modifica in modo da assumere un valore w tale che verifichi l'eguaglianza $Mv = Nw$.

Questa eguaglianza è l'espressione del principio della *conservazione delle aree.*

Ciò premesso, diciamo che il dispositivo del P. Hagen fu chiamato *isotomeografo* (dal greco ἴσος, eguale; τομεύς, settore) per indicare che applicava il principio della conversasione delle aree. L'isotomeografo che fu usato nelle esperienze della Specola Vaticana consisteva essenzialmente in un pendolo di torsione.

Nella torre Leonina al soffitto di una stanza al primo piano fu sospeso ad un punto A un filo di acciaio che discendeva nel centro di una sala circolare di 9 metri di diametro, a pian terreno; in questa era attaccato al filo un apparecchio quale viene schematicamente rappresentato dalla fig. 12 e che consisteva in un tronco di antenna verticale attraversato da un'asta orizzontale, che sulla figura va da S a N. Sulla figura sono state omesse due trasversali oblique, che avevano lo scopo di dare maggiore stabilità ai due bracci orizzontali lungo

ciascuno circa quattro metri e mezzo. Le due aste orizzontali, furono munite di un binario sul quale potevano muoversi due carrelli carichi di piombo.

Nella figura i carrelli sono disegnati alle estremità, una corda li collega con un peso posto al di sotto del tronco di antenna verticale. Questo peso P è collegato con l'antenna da un filo fusibile che si fonde ad un determinato istante per mezzo di un comando elettrico: il peso P allora discende in una buca scavata sotto il pian terreno, e trascina i carrelli dagli estremi verso il centro. Il peso complessivo del pendolo di torsione era circa di 250 kg., di cui un terzo il peso delle armature. Nel trasportare i carrelli dagli estremi verso il centro il momento d'inerzia del sistema diminuiva; l'isotomeografo, che era stato disposto nel piano nord-sud, dopo lo spostamento delle masse acquistava una velocità di rotazione attorno all'asse terrestre, maggiore di quella del primo meridiano in cui si trovava, e si vedeva l'isotomeografo spostarsi nel senso indicato sulla figura dalle freccie, cioè nel senso della rotazione terrestre. Modificando il collegamento dei carrelli col peso P, si poteva fare in modo che questi fossero allontanati dal centro verso le estremità, allora si aumentava il movimento d'inerzia del sistema, e la velocità di rotazione rispetto all'asse terrestre, diminuiva, e si vedeva l'isotomeografo ruotare nel senso opposto al precedente. Il senso della deviazione e l'angolo erano stati previsti dal calcolo e l'esperienza fu qualitativa e quantitativa.

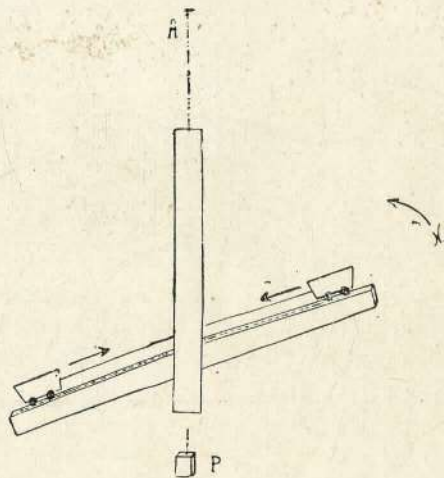



Fig. 12.

b) Dopo la Meccanica è venuta l'Ottica a portare il suo contributo di dimostrazione scientifica alla rotazione della Terra. La dimostrazione è basata sul postulato che la luce si propaga nello spazio con moto uniforme in tutti i sensi. Ogni raggio elementare è costituito da una serie di ondulazioni tutte uguali fra loro per il medesimo raggio: si è fatta l'ipotesi che queste siano trasportate da un corpo speciale imponderabile perfettamente elastico chiamato etere cosmico. Pertanto se talvolta si constata una variazione di velocità e conseguentemente una variazione nella lunghezza delle onde di un raggio, se ne deve cercare la causa fuori dello spazio in cui si è propagato il raggio, ossia fuori dell'etere cosmico che si considera come sede delle radiazioni luminose.

1° Incominciamo dal supporre che il nostro equatore *e* (vedi fig. 13) sia contornato da una galleria di specchi che possano riflettere dall'uno all'altro un raggio luminoso, inestinguibile, fino a ricondurlo, dopo un giro attorno alla Terra, in prossimità del suo punto di partenza.

Sulla figura abbiamo rappresentato con la poligonale *f* questa chimerica galleria che chiameremo *fascia equatoriale.*

Se un raggio elementare di luce vi penetra dalla fenditura M ed è diviso in due dal prisma riflettente L, i due raggi riflessi percorrono, l'uno in senso inverso all'altro, la fascia equatoriale.

Ora supponiamo di raccogliere i due raggi reduci dal giro del mondo e confrontiamoli. Avremo occasione, parlando in seguito dell'interferometro, di dire come si fa il confronto fra le velocità di due raggi elementari; per ora diciamo semplicemente che con speciali e delicati dispositivi si fanno produrre ai due raggi certe righe, chiamate *frange di interferenza,* dalla cui misura si possono dedurre leggerissime differenze fra i due raggi che si esaminano. In questo momento preme di comprendere come ed in quali casi i due raggi riflessi ci appariranno differenti fra loro.

2° Se la Terra è rimasta immobile, i due raggi hanno percorso lo stesso spazio nello stesso tempo, tanto rispetto alla Terra, quanto rispetto allo spazio immobile, cioè all'etere che la circonda. Il tempo della durata del percorso è misurato dall'arco α di cui ha ruotato nel frattempo la sfera celeste. Per meglio intenderci abbiamo rappresentato, esternamente al poligono, con una spirale punteggiata il percorso del raggio che è andato verso destra, e con una spirale tratteggiata il percorso di quello che è andato verso sinistra: le due spirali peraltro rappresentano due linee di uguale lunghezza.

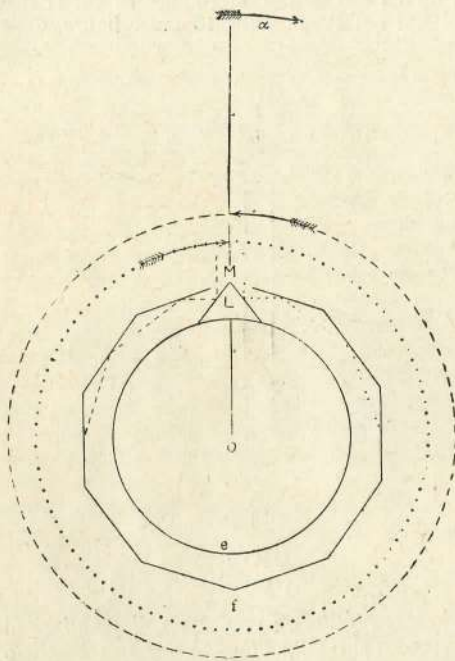



Fig. 13.

3° Supponiamo ora che la Terra sia animata da un moto di rotazione attorno ad un asse perpendicolare al piano equatoriale, e che il suo equatore ruoti nel senso indicato dalla freccia (vedi fig. 14): nel tempo in cui i raggi compiono il giro, la Terra descriva l'angolo V O T eguale in ampiezza all'arco α considerato nel caso precedente: il raggio penetrato per M si divide anche questa volta in due raggi che percorrono la fascia equatoriale in senso inverso e si possono raccogliere al loro ritorno per confrontarli; ma questa volta, mentre rispetto alla Terra hanno percorso una stessa poligonale, rispetto allo spazio immobile, cioè all'etere, il raggio il cui percorso è rappresentato dalla punteggiata ha da percorrere ancora il piccolo spazio T′ V′ per chiudere il suo circuito, e l'altro raggio ha invece compiuto il suo circuito e ne ha incominciato un nuovo per il tratto V′ T′: dunque *nella ipotesi della rotazione della Terra* i due raggi si raccolgono presso il loro punto di partenza con velocità diverse che si possono rendere evidenti con la modificazione di quelle frange d'interferenza di cui abbiamo detto sopra. Viceversa dalla modificazione di queste si può dedurre la rotazione della Terra e si prevede che si potrà in seguito costruire un prospetto delle modificazioni delle frange e delle velocità di rotazione terrestre che vi corrispondono.

4° Rimane sempre la difficoltà di quell'immensa fascia equatoriale di cui ci siamo serviti fino ad ora.

Intanto si comprende che la fascia poligonale riflettente si può portare verso il polo restringendola ad un circuito di appena un chilometro. Anche in questo caso i due raggi che emergono ci appariranno *identici* se la Terra è rimasta *ferma*, ed invece *differenti* se la Terra *ha ruotato* nel piano in cui si studia il disegno, o in un piano inclinato su questo. Inoltre non è necessario che la fascia riflettente sia un poligono di molti lati: può essere un rettangolo con quattro specchi uno ad ogni vertice, e non è necessario neppure andare a cercare il polo per arrivare alle stesse conclusioni.

5° Basterà dunque prendere un raggio di luce elementare, fargli percorrere una canalizzazione opportunamente preparata attorno ad una piccola parte della superfice terrestre, ed esaminare i due raggi emergenti.

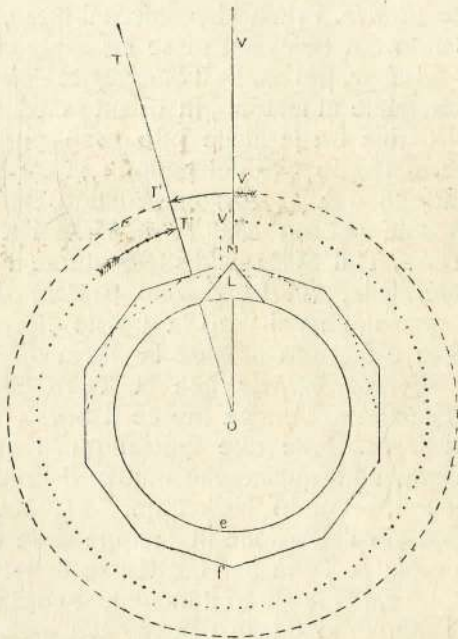
Così fecero Michelson e Gale in una esperienza eseguita a Clearing (Stati Uniti Am.) [1]. Su un terreno accuratamente livellato fu adagiato un rettangolo di 2076 metri di perimetro. I lati del rettangolo erano formati da tubi cilindrici di 50 cm. di diametro e nel loro interno si era fatta una rarefazione di qualche cm. di mercurio. Ad ogni vertice si frovava uno specchio verticale inclinato 45 gradi sui lati del rettangolo, e presso uno di questi erano due fenditure per l'entrata e l'uscita dei raggi luminosi.

Fig. 14.

Lo spostamento delle frange in confronto alla posizione che esse avrebbero avuto se la Terra fosse rimasta immobile, fu dedotto dal calcolo e, tenuto conto della latitudine del luogo, della velocità di rotazione della Terra, della superfice circondata dalla canalizzazione, della velocità e della lunghezza d'onda della luce adoperata, si sarebbe dovuto avere uno spostamento di 236 millesimi di frangia.

In 269 osservazioni lo spostamento osservato fu compreso fra 0,193 e 0,255 con una media di 0,230 di frangia. L'esperienza conduceva dunque alla conclusione che la Terra è animata dal moto di rotazione già previsto dal calcolo.

Gli studi sono ora in un campo nuovo, nel quale non ci si preoccupa di dimostrare la rotazione della Terra, ma di arrivare a misurarla, a registrarne le eventuali variazioni, come ora si seguono le variazioni dei tremiti superficiali negli Osservatori Geodinamici.

---

(1) A. A. MICHELSON and HENRY G. GALE, *The effect of the Earth's rotation on the velocity of the light.* Ap. J., 61 (1925) 138, 140.

2. — **Rivoluzione annua.** — Oltre il movimento *diurno* di rotazione attorno al proprio asse, la Terra ha pure un movimento annuo di rivoluzione attorno al Sole. Dimostrano l'esistenza di questo secondo movimento le prove seguenti:

a) Osservate per alcuni giorni il Sole al tramonto: lo vedrete manifestare un suo spostamento particolare fra le stelle, da occidente in oriente, e non ritornar più ad una data posizione che dopo 365 giorni circa, Nelle sere d'agosto, per es., vedrete allineate bene davanti a voi, da ovest a sud, la *Vergine*, la *Libra*, lo *Scorpione*, il *Sagittario*. Prima che finisca il mese, scomparirà la *Vergine*, tramontando col Sole: nel mese seguente vi si nasconderanno la *Libra*, lo *Scorpione*, poi anche il *Sagittario*. Volete rivedere queste costellazioni? Cercatele al mattino, in oriente davanti al Sole. Questo spostamento del Sole fra le stelle può esso pure spiegarsi in due modi: — o ammettendo che nel periodo di un anno la Terra descriva un giro attorno al Sole; — o ammettendo che invece questo giro lo descriva il Sole attorno alla Terra. Nella fig. 15 supponete che siano S la Terra, T′ il Sole: evidentemente se il Sole passa da T′ in T, rispetto alle stelle, voi lo vedrete passare da *Vergine* in *Libra*. La stessa impressione voi però la potete ricevere anche ammettendo in S il Sole e facendo passare la Terra da T‴ in T″: in questo secondo caso *propriamente* sarà la Terra che passerà da *Pesci* in *Ariete*, *apparentemente* sarà invece il Sole che uscirà da *Vergine* ed entrerà in *Libra*. Delle due ipotesi quale accettare? Quella che muove la Terra, non quella che muove il Sole. Il Sole ha difatti una massa che è, secondo Newcomb, 333432 volte maggiore della Terra, ed essendo l'attrazione in ragione delle masse, evidentemente è troppo piccola la Terra per incatenare il Sole a sè.

b) Persuadono il movimento della Terra anche gli altri pianeti. — Si muovono questi pianeti? E l'analogia conduce subito a pensare che dunque si muove anche la Terra. — Si vuole immobile la Terra? Ed ecco che i movimenti degli altri pianeti diventano inesplicabili: testimonio (lo vedremo) l'antica astronomia. — S'aggiunga: Römer (1676) ha misurato la velocità della luce con le ineguaglianze sinodiche dei satelliti di Giove. Determinata però questa velocità da Foucault e Cornu con altri metodi, quelle ineguaglianze, inesplicabili per altra via, evidentemente dimostrano alla loro volta il movimento di Giove e della Terra attorno al Sole ed anzi ne misurano anche le orbite.

c) Trascurando come prova la parallasse annua di alcune stelle o anche l'incontro periodico che la Terra fa di diverse meteore (stelle cadenti), accenniamo ancora ad un fenomeno assai importante, che è l'**aberrazione delle stelle**. — Supponete di essere in ferrovia:

piove; è fermo il treno? i filetti d'acqua discendono *verticali*, lungo i vetri dei finestrini; si muove il treno? i filetti d'acqua diventano *obliqui*, e con *una obliquità che è in rapporto colle velocità dell'acqua che cade e del treno che corre.* Conseguenza: dunque i movimenti si compongono come si compongono le forze, ossia (fig. 16) la direzione del movimento di un corpo T′ sollecitato contemporaneamente verso T e verso S′, sarà T′S, cioè la diagonale del parallelogrammo

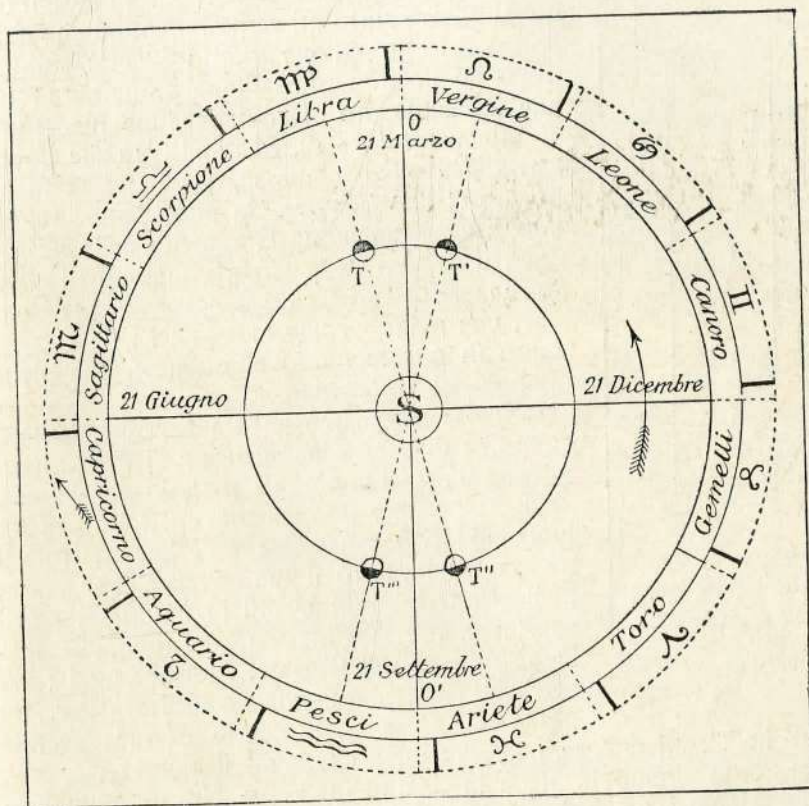



Fig. 15.

costruito sulle rette che rappresentano, in direzione e velocità, i movimenti elementari. — L'abate Picard (1620-1682) aveva notato nella *Polare* delle oscillazioni annue: Bradley (1692-1762) desiderò constatare queste oscillazioni anche nelle altre stelle, e, per studiarle, fece assegnamento in modo speciale su *y* del *Dragone*, che, passando allo zenith del suo Osservatorio, eliminava completamente le influenze della rifrazione. Accertato il fatto come generale, restava da trovarne la

teoria, e in questo Bradley non incontrava che buio. Fu il *caso*, il caso però del *pendolo* di Galileo e della *mela* di Newton, che gli diede la chiave del mistero. « Stando egli sulla sponda del Tamigi per essere trasportato all'altro lato dalla barca del traghetto, e piovendo con gran calma e tranquillità di aria, fu sorpreso quando, al muoversi della barca, vide la pioggia scendere obliquamente verso di lui, che fu costretto a internarsi dentro il casotto per ripararsi dall'acqua. Potevasi fin qui supporre sorto un vento repentino che trasportasse le gocce; ma giunto all'altra sponda trovò la pioggia calma come prima. Era dunque un fenomeno di composizione meccanica di movimento!... » [1]. Sostituite ora alle gocce d'acqua le onde luminose, alla barca la Terra, ed eccovi l'*aberrazione*. Da poco tempo (1676) Römer aveva misurata la velocità della luce: a Bradley il fatto della pioggia suggerì di comporre la velocità della Terra colla velocità della luce, che stanno come 1:10000, e vide che appunto in questo modo si otteneva una piena ragione del fenomeno.

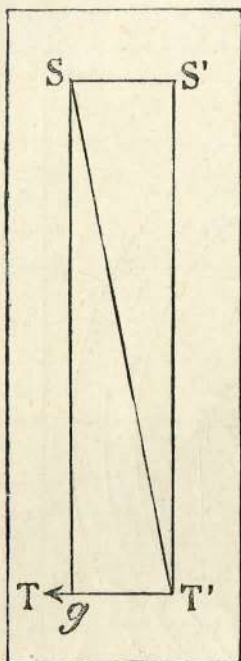



Fig. 16.

Ed ora ritorniamo ancora per un istante a supporre di essere in ferrovia e di voler raccogliere dell'acqua di pioggia in modo che le gocce abbiano a cadere direttamente sul fondo di un tubo cilindrico senza bagnarne le pareti: se il treno è fermo, terrò il tubo verticale: se corre, inclinerò il tubo in avanti in modo da corrispondere, con l'inclinazione del tubo, alla direzione obliqua delle gocce. Ebbene: quel tubo è il canocchiale. Intanto che la Terra (fig. 16) passa da T′ in T, il raggio di luce scende da S′ in T′; ed ST′ sarà la direzione che avrà il raggio *per noi*, ossia noi vedremo la stella in S, non in S′. — Noi dunque portiamo gli astri un po' avanti, per il movimento della Terra nella sua orbita.

Le stelle situate ai poli dell'eclittica descrivono dei circoli di 20″, 47 di raggio: discendendo, si incontrano le altre che descrivono ellissi sempre più schiacciate, finchè nel piano dell'eclittica le stelle si scorgono spostarsi soltanto lungo una retta di 40″, 94. — Questo movimento concorde non lo si può supporre reale nei cieli: è forza

(1) SECCHI, *Stelle*, pag. 279.

ammetterlo dunque soltanto apparente, e creato dalle condizioni soggettive dell'osservatore. Il valore massimo dell'aberrazione è di 20'',47, come fu convenuto nella Conferenza internazionale delle stelle fondamentali, radunata a Parigi nel 1896. La **velocità della luce** è, secondo recenti esperienze degli astronomi Newcomb e Michelson, di 299860±30 chilometri per secondo.

Conoscendosi la velocità della luce, dalla aberrazione si potrà dedurre la velocità della Terra nella sua orbita, che è di Km. 29,5 al minuto secondo, 1770 al minuto primo, 106200 all'ora, 2548000 al giorno. Dividendo il raggio medio dell'orbita terrestre per la velocità della luce, si trova che il tempo impiegato dalla luce per venire dal Sole alla Terra è 8^m 18^s, 38; che chiamasi **equazione della luce**. Il valore suesposto differisce nei decimali secondo i diversi metodi adoperati.

3. — **Alcune conseguenze.** — I due movimenti che abbiamo studiato sono i più importanti, ed è quindi necessario che ci arrestiamo un momento ad esaminarli attentamente nelle loro particolarità e nelle loro conseguenze, raccogliendo per maggior chiarezza queste nozioni sotto diversi punti.

A) Lo spostamento apparente del Sole fra le stelle non è uniforme: passa gradatamente da un massimo (al giorno) di 1° 1' 10'' al 31 dicembre, a un minimo di 57' 17'' al 29 giugno, corrispondenti alle velocità reali della Terra di Km. 1855 al minuto nel primo caso, di 1794 nel secondo. — Inoltre: il Sole non ha sempre il medesimo diametro apparente, e, misurato all'eliometro, dà difatti i valori di 32' 36'' al 1° gennaio, di 31' 32'' al 30 giugno.

L'eliometro, inventato da Bourguer nel 1747, è un canocchiale, nel quale l'obiettivo è segato per metà. Se queste due metà sono unite formando una lente unica, dànno un'immagine sola: se l'una invece scorre sopra l'altra, l'immagine si sdoppia, e dalla quantità di corrimento necessaria per ottenere esattamente le due immagini distinte e osculanti, si deduce il diametro apparente dell'astro osservato.

Ora se si discutano i due fenomeni suddetti colle leggi del moto centrale, questo basterà per far conchiudere che la Terra non si muove sopra di un circolo perfetto, bensì sopra di un'orbita ellittica, della quale il Sole occupa uno dei fuochi. L'ellisse descritta dalla Terra è assai vicina al circolo, e la sua eccentricità (ossia il rapporto tra la distanza dei fuochi e il grande asse) non è che 0,01677, ossia press'a poco $^1/_{60}$. Facendo il grande asse = 1, il piccolo sarebbe = = 0,99986. (Lapparent). L'eccentricità va lentamente diminuendo di 0,000043 per secolo, secondo Leverrier; di 0,000042, secondo Newcomb; al 1° gennaio 1900 era di 0,0167498, secondo Leverrier;

di 0,01675104 secondo Newcomb. Nella fig. 17, *adld'* è un'ellisse di cui C il centro, *al* l'asse maggiore, *dd'* l'asse minore, F, F' i fuochi, FC (ossia la distanza dal centro ai fuochi) l'eccentricità. Se coll'ellisse rappresentate l'orbita della Terra, per formarvi un'idea dei nostri rapporti col Sole, dovete collocare in F il Sole e ritenere che la Terra voli, colla velocità di 30 Km. al secondo, da *a* in *l*, percorrendo *in tempi eguali gli archi disuguali ab, bc, cd*, ecc. — Il punto *a* di massima vicinanza al Sole si chiama **perielio:** il punto *l* di massima lontananza **afelio.** Ai primi di luglio noi siamo circa a 151996000 Km. dal Sole: ai primi di gennaio siamo invece più vicini di quasi 5000000, cioè siamo alla distanza di soli chilometri 146993000, e ne siamo alla distanza media, a 149501000 Km., ai primi di aprile e di ottobre.

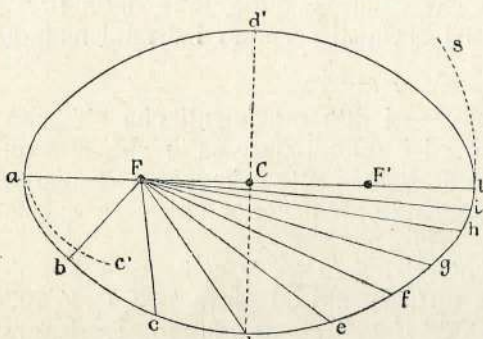



Fig. 17.

B) Il sole a mezzogiorno non raggiunge sempre la medesima altezza sul nostro orizzonte: d'inverno rimane assai più basso che d'estate, e le ombre proiettate dai corpi sono difatti assai più lunghe in quella che non in questa stagione. Di qui la conseguenza — che il piano dell'orbita della Terra non coincide col piano dell'equatore, ma lo taglia obliquamente in due punti, detti *nodi*, sotto un angolo di 23° 27'. — La linea che il centro della Terra descrive nello spazio attorno al Sole si chiama **eclittica,** perchè, come vedremo, è nel suo piano che devono trovarsi Sole e Luna per produrre le *eclissi*. Se parallelamente all'eclittica e alla distanza di 8° 5', dall'una e dall'altra parte, descrivete due cerchi in cielo, determinerete una zona che è lo **zodiaco** o la **fascia zodiacale,** zona ove possono apparire e appaiono i pianeti del sistema solare.

C) Richiamiamo dalle prime nozioni di geografia le seguenti definizioni. Diconsi: — **Asse della Terra** il diametro (fig. 5, pag. 19) P' CP'' attorno al quale la Terra gira sopra se stessa: — **Poli** i punti (P' e P'') nei quali l'asse incontra la superfice: — **Equatore** il circolo *massimo* (E' C E) normale all'asse e che è conseguentemente equidistante dai poli e divide il globo in due **emisferi,** l'uno (E'P'E) **artico** o **boreale,** l'altro (EP''E') **antartico** o **australe:** — **Parallelo** ogni circonferenza *minore* normale all'asse e quindi con tutti i i suoi punti egualmente distanti dall'equatore: — **Meridiani** le

circonferenze massime che hanno per diametro l'asse: — **Latitudine** di un parallelo, l'arco di meridiano compreso tra questo parallelo e l'equatore: — **Longitudine** di un meridiano, l'arco di equatore compreso tra questo meridiano e un meridiano scelto come *fondamentale*. — *Longitudine* e *latitudine* sono nomi che ricordano come gli antichi conoscessero della Terra una estensione maggiore da ovest a est (lunghezza-*longitudo*) che non da sud a nord (larghezza-*latitudo*).

Esaminate ora la fig. 18, che vi presenta il globo *p e p′ e′* nel centro della sfera celeste PEP′ E′, e a colpo d'occhio vedrete come prolungando le rette ed estendendo i circoli della Terra, voi potrete segnare poli (PP′), equatore (EE′), paralleli (ZK) ecc. anche sul cielo. Ogni giorno a noi pare che la sfera celeste compia una rotazione attorno all'asse PP′. La *Polare* non è esattamente al polo, come abbiamo supposto fin qui; ne dista di 1° 7′ circa (1922) e descrive quindi attorno ad esso pure un piccolo cerchio. *Rispetto al suo orizzonte,* un osservatore al polo vedrebbe le stelle descrivere ogni giorno archi *paralleli:* all'equatore archi *normali,* e nelle latitudini intermedie, archi *obliqui.* Nel primo caso l'osservatore sarebbe detto abitatore della **sfera parallela,** nel secondo della **sfera retta,** nel terzo della **sfera obliqua.**

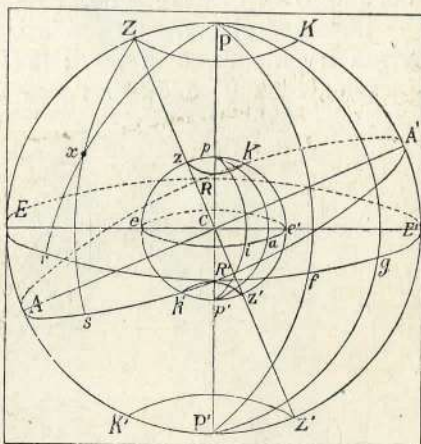



Fig. 18.

Nella figura citata ARA′R′ rappresenta l'eclittica, di cui R e R′ sono i *nodi:* R è il punto di partenza per il computo delle longitudini, le quali, almeno in cielo, non hanno dato luogo alle piccole gare, alle quali sulla Terra ha dato e dà luogo la scelta del meridiano iniziale. Per determinare esattamente la posizione di un astro sulla volta del cielo si ricorre alle **coordinate** che sono:

— **longitudine** e **latitudine,** se si computano rispetto al cerchio e ai poli dell'eclittica; e, come abbiamo già detto al Cap. I, § 4,

— **ascensione retta** (AR) (α) e **declinazione** (D) (δ), se si computano rispetto all'equatore e ai poli di questo.

La stella *x* ha dunque l'arco RE*r* di AR e l'arco *rx* di D boreale: l'arco RA*s* di longitudine e l'arco *sx* di latitudine.

Se all'eclittica o all'equatore si sostituisce l'*orizzonte,* allora le coordinate si chiamano rispettivamente **ázimut** e **altitudine.** Nella

fig. 19 siano *asre* l'orizzonte, *i* lo zenith e *cis* il piano meridiano del luogo di osservazione: si chiameranno *altitudine*, o **altezza** dell'astro *o*, l'arco *oz* del cerchio verticale dell'astro, compreso fra l'astro e l'orizzonte; — **distanza zenitale** l'arco *oi* del cerchio verticale dell'astro compreso fra l'astro e lo zenith: — *azimut* l'arco *sz*, o l'angolo *scz*, compreso fra il piano verticale passante per l'astro e un piano verticale di confronto, che di solito è il piano meridiano del luogo di osservazione.

L'*azimut* si computa sull'orizzonte partendo da nord e andando verso levante da 0° a 360°: la *longitudine*, andando da occidente in oriente da 0° a 360°: l'*ascensione retta* pure andando da occidente in oriente da 0° a 360°, oppure in ore da 0 a 24. — Le *declinazioni*, le *latitudini* e le *altitudini* si computano in gradi da 0° a 90° e si dividono in *positive* e *negative* secondochè sono *sopra* o *sotto* il cerchio di origine.

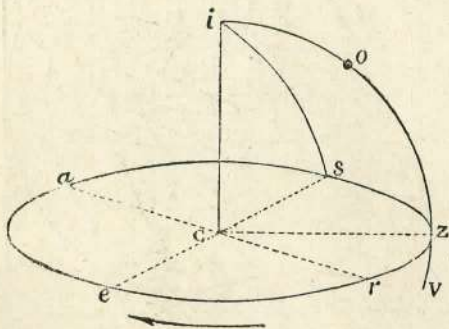



Fig. 19.

Tutte le stelle si vedono sorgere in oriente, toccare una massima altezza sul nostro cielo e poi discendere e tramontare in occidente. Quando una stella tocca la sua massima altezza, ossia passa al meridiano di un dato luogo, si dice che *culmina*. Si distinguono due culminazioni, la *superiore* e la *inferiore:* la superiore si ha quando l'astro passa al meridiano davanti all'osservatore volto a sud: la seconda a 180° in longitudine dalla prima.

Per determinare le coordinate di una stella vi potete servire di uno *strumento dei passaggi* (fig. 20), ossia di un canocchiale fisso su due perni e mobile soltanto nel piano meridiano, nel quale è pure disposto un cerchio graduato. In questo canocchiale una stella non sarà visibile se non quando culminerà; quando culmina, l'orologio dell'osservatorio, regolato a *tempo siderale* (che tosto conosceremo) ve ne dà l'ascensione retta, il cerchio graduato, la declinazione, ed ecco la stella esattamente individuata: sapendo a *quante ore* e a *quale distanza dall'equatore* essa viene a passare davanti a voi, voi la potrete anche in seguito ritrovare con somma facilità senza pericolo di scambiarla con altre. — Siccome lo spazio di cielo, ossia il *campo* che un canocchiale abbraccia, ha sempre una certa larghezza, per individuare meglio l'istante del passaggio della stella al centro, si introduce il *reticolo*, formato da alcuni fili di

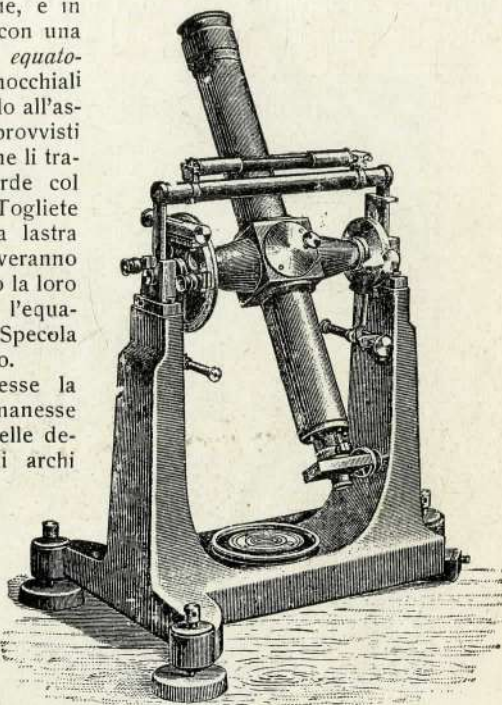
ragnatela disposti simmetricamente ed equidistanti: la stella entra nel campo e si nasconde successivamente dietro i diversi fili verticali: la media dei tempi corrispondenti a queste occultazioni dietro i fili darà esattamente il tempo del passaggio al centro.

Per raccogliere le fotografie, e in generale per seguire un astro con una lunga osservazione, servono gli *equatoriali* (fig. 21 e 22), che sono canocchiali montati sopra di un asse parallelo all'asse della Terra o del mondo, e provvisti di un apparato di orologeria che li trascina in un movimento concorde col movimento apparente del cielo. Togliete l'oculare sostituendolo con una lastra sensibile, e gli astri, che si troveranno nel campo, subito vi segneranno la loro impronta. La figura 21 mostra l'equatoriale che ha servito presso la Specola Vaticana alla fotografia del cielo.

Fig. 20. — Strumento dei passaggi.

Se il canocchiale non avesse la montatura equatoriale e non rimanesse fermo nella sua posizione, le stelle descriverebbero sulla lastra degli archi di cerchio, come è rappresentato dalla fig. 3.

Invece per avere una buona fotografia delle stelle bisogna mantenere l'asse ottico del canocchiale verso lo stesso punto del cielo. A tale scopo accanto al canocchiale fotografico trovasi connesso rigidamente un secondo canocchiale, detto *collimatore* munito di reticolo, a cui applica l'occhio l'osservatore per mantenere l'astro nella stessa posizione relativa al reticolo e quindi anche nella stessa posizione sulla lastra fotografica. — I due canocchiali per maggiore rigidità di connessione sono rinchiusi in una medesima custodia metallica. —

Gli equatoriali che hanno per obiettivo una lente si chiamano *rifrattori* e quelli che hanno come obiettivo uno specchio parabolico si chiamano riflettori o *telescopi*. Questi ultimi sono più ingombranti dei primi, ma meno costosi e più leggeri. Per certe ricerche moderne di Astronomia si è sentito il bisogno di obiettivi molto più grandi degli usuali, e si sono costruiti degli ampi riflettori a lunghissimo fuoco; per questi non è stata più possibile l'armatura equatoriale, ma si sono costruite delle torri, una delle quali, al Monte Wilson, è alta 50 m. Si sono chiamati **telescopi a torre;** sono canocchiali verticali nei quali l'armatura degli equatoriali è sostituita da un *celostato,* che raccoglie i raggi dell'astro e li invia al riflettore parabolico.

4. — Misura delle longitudini. — Ora che sul cielo abbiamo determinati i punti fissi, ai quali riferirci per i confronti, possiamo seguire la Terra nella sua *rotazione* e nella sua *rivoluzione*. — Dal primo di questi movimenti dipendono il giorno e la notte. **Mezzogiorno** è l'istante nel quale il Sole *culmina* sopra un dato luogo; **giorno solare,** l'intervallo di tempo che passa fra due passaggi consecutivi del Sole ad un medesimo meridiano.

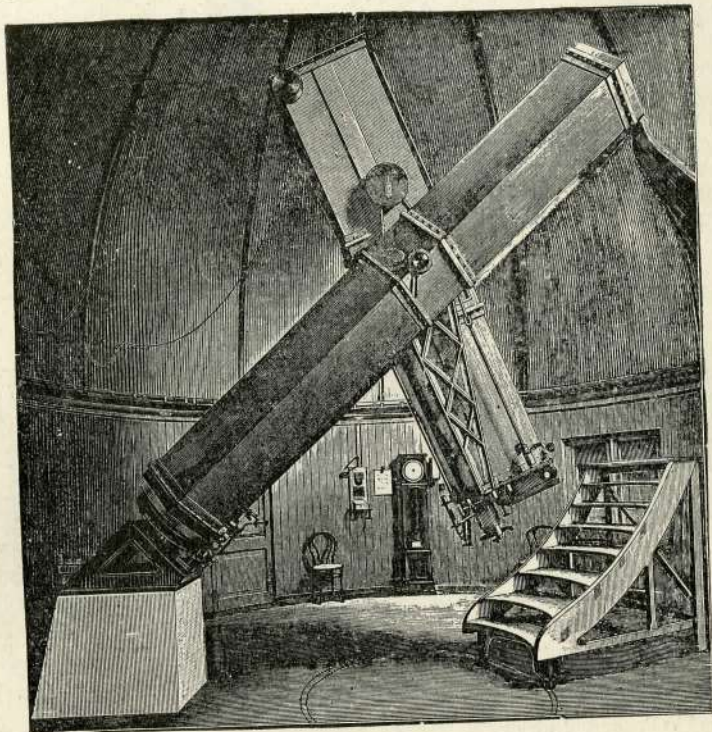



Fig. 21. — Equatoriale fotografico della Specola Vaticana.

Dividiamo questo spazio in 24 parti eguali (ore); ognuna di queste in 60 parti eguali (minuti), ecc. — In ogni ora passano davanti al Sole 15° di longitudine del nostro globo. Due paesi che si troveranno sul medesimo meridiano e dalla medesima parte avranno dunque il *mezzogiorno (meridies)* comune, e due paesi che si troveranno sul medesimo meridiano, ma a 180° di longitudine uno dall'altro, avranno invece ore opposte — mezzanotte per l'uno quando per l'altro sarà mezzogiorno. Supponete ora di partire, per es., da Milano con un cronometro esatto e regolato con l'ora di

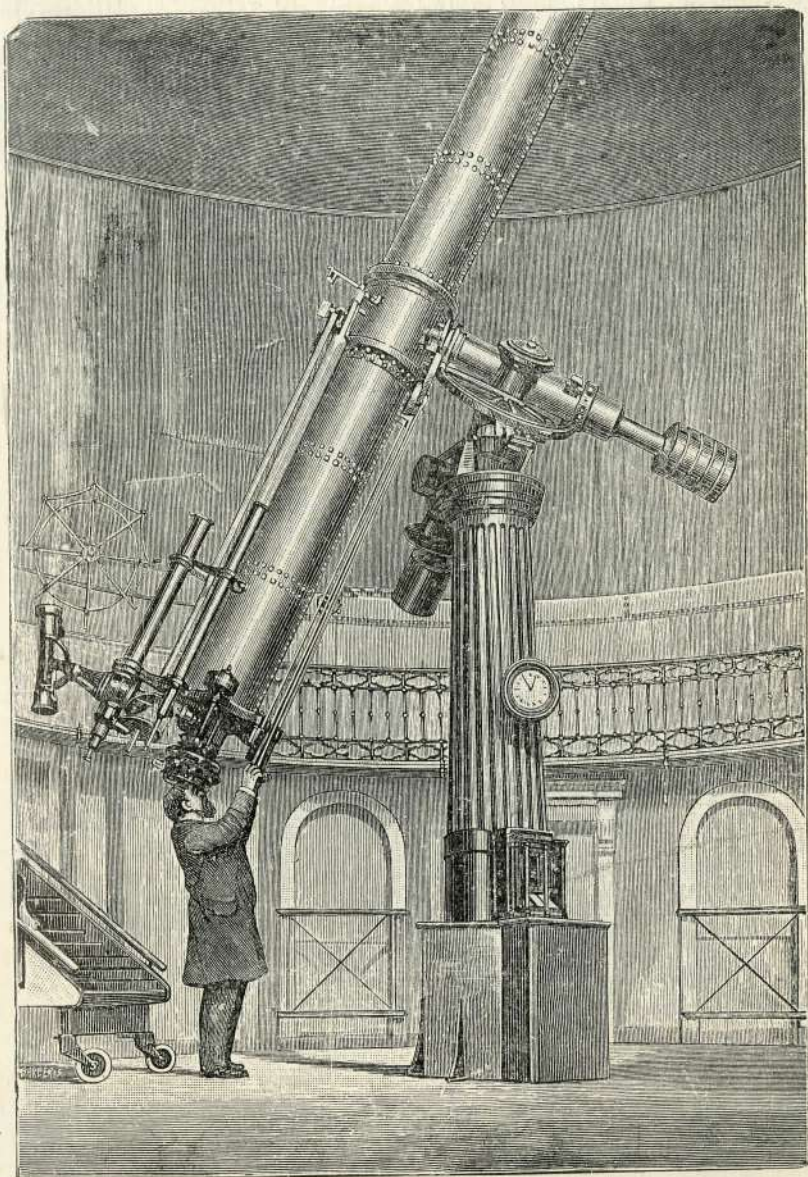



Fig. 22. — Equatoriale dell'Osservatorio Brera in Milano.

questa città: camminando verso oriente lo vedrete *tardare* sempre più, e in Atene segnerà le $11{,}2^m$ quando gli orologi locali vi segneranno mezzogiorno, in Gerusalemme le $10{,}16^m$, in Teheran le $8{,}11^m$ ecc. Se vi foste diretti verso occidente, il fatto si sarebbe presentato in senso opposto e l'orologio avrebbe *anticipato* continuamente, segnando, ad esempio, le ore $12{,}6^m$ a Torino, quando ivi batteva il

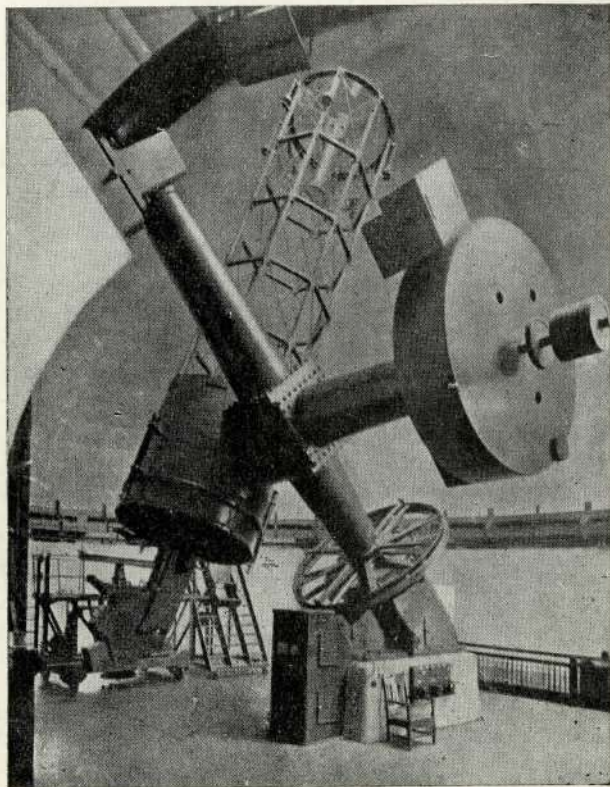



Fig. 23. — Riflettore di 72 poll. nell'Osservatorio di Vienna. Publications I (1922) 58.

mezzogiorno, le ore $12{,}27^m$ a Parigi, le $5{,}32^m$ a Nuova-York, ecc. Il fatto, credo, non abbisogna di spiegazione, tanto è chiaro per sè. L'indice del cronometro compie regolarmente il suo giro nelle 24 ore, ed essendo stato posto in movimento *con l'ora di Milano*, conserva quest'ora esattamente: lo portate nei paesi d'oriente? Esso continuerà a dare l'ora di Milano e sembrerà quindi in ritardo: lo portate in occidente? Continuando a dar l'ora di Milano, sembrerà

in anticipo. Di qui potete comprendere il servizio grande che alla navigazione recano i cronometri. Siamo in alto mare e non si vedono che acqua e cielo: come determinare le coordinate del punto dove ci troviamo? Presto fatto: dalla declinazione degli astri si

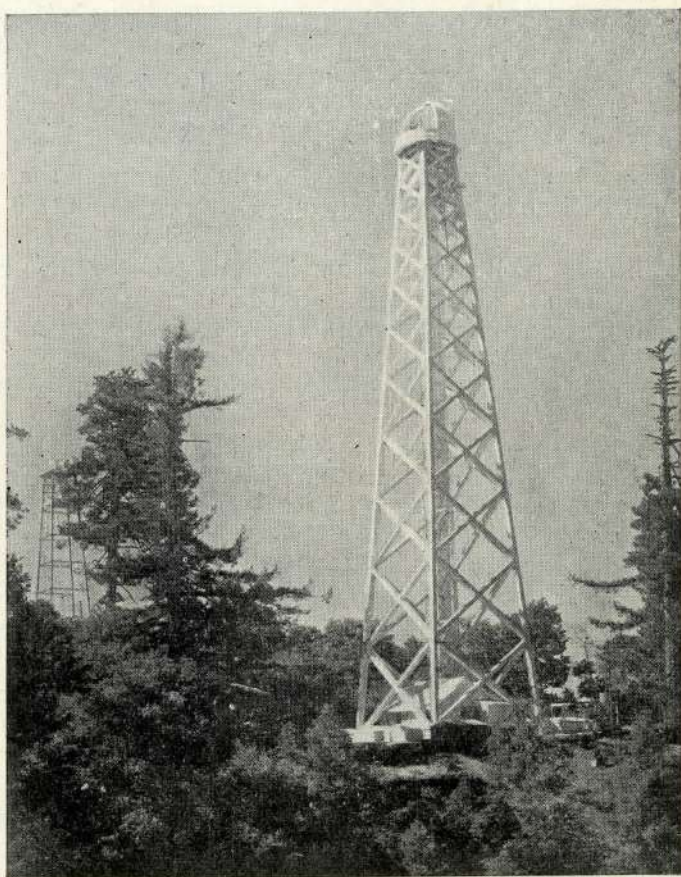



Fig. 24. — Torre del Monte Wilson.

deduce la latitudine [1], dal cronometro la longitudine. Se difatti nel luogo dove ci troviamo, quando il Sole culmina, il cronometro (messo d'accordo, alla partenza, col tempo p. es. di Genova) segna le 14, dobbiamo conchiudere che ci troviamo a 30° a W di Genova, ossia nell'Atlantico sul meridiano delle Canarie. Supponete ora di

---

[1] Vedi cap. II, § 3.

continuare il viaggio verso occidente e di ritornare poi a Genova per il canale di Suez; a casa troverete di che meravigliare di più e perchè? Perchè - per usare la frase dei compagni di Magellano - troverete di *aver perduto un giorno lungo la strada:* il giornale di bordo per es. segnerà l'arrivo nel giorno di *Lunedì*, e discendendo a terra vi troverete invece che i cittadini diranno di essere al Martedì. Come mai? Riflettete: andando verso occidente, voi *allungavate* di alcuni minuti ognuno dei vostri giorni: il Sole che oggi culminava sopra di voi in un punto, domani non vi incontrava più in quel punto, e per raggiungervi ancora, doveva descrivere un altro arco corrispondente al vostro progresso in longitudine: la somma di questi piccoli archi guadagnati ogni giorno, dà appunto il giorno che credevate sulle prime di aver perduto. Se il viaggio si fosse intrapreso in senso contrario, verso oriente, si sarebbe invece avuto il guadagno, non la perdita della giornata. Per questo motivo nei primi anni della colonizzazione dell'Alaska gli abitanti erano tra loro in disaccordo per il calendario; gli Americani, venuti dall'Ovest, erano in ritardo di un giorno rispetto ai Russi, venuti dall'Est.

La linea del cambiamento di data oggi segue [1] press'a poco l'antimeridiano di Greenwich facendo tuttavia le inflessioni seguenti: lasciando all'ovest l'isola di Wrangel, essa rasenta al largo la costa della Russia Asiatica e passa in mezzo allo stretto di Behring, poi tra le isole Komandorski (all'est di Kamchatka) e l'isola Blijni (la più occidentale del gruppo delle isole Aleutine). La linea s'inflette poi verso sud-est al largo delle isole Aleutine per raggiungere alla latitudine di 48° nord l'antimeridiano di Greenwich che segue sino al parallelo di 5° sud. Si piega poi verso sud-est per raggiungere alla latitudine 15° 30′ sud il meridiano di 172° 30′ est di Greenwich, seguendolo fino al parallelo di 45° 30′ sud. Essa si dirige allora sul punto situato a 51° 30′ sud e 180° Greenwich e di là segue l'antimeridiano. Una nave che traversa la linea del cambiamento di data in direzione WE fa il salto di un giorno nel suo calendario, e segna due volte l'istesso giorno, se traversa quella linea in senso contrario.

La differenza di longitudine fra due stazioni si determina conoscendo il tempo di queste ad un medesimo istante. — La determinazione del tempo di un dato luogo, o tempo locale, si faceva prima per mezzo delle meridiane con un'approssimazione di qualche decimo di minuto primo, mentre ora si fa negli Osservatori Astronomici cogli strumenti dei passaggi, raggiungendo l'approssimazione di qualche millesimo di minuto secondo, e questo tempo si affida agli orologi meccanici perchè lo conservino fino ad una nuova determinazione.

La differenza di tempo fra due orologi A e B si può leggere

(1) *Annuaire du B. des Long.* 1922.

direttamente fino ai minuti secondi; per le frazioni centesimali di questi si ricorre al metodo delle *coincidenze,* che risale a Borda. Supponiamo che i due orologi siano muniti di un bilancere che fa un'oscillazione ogni minuto secondo e confrontiamo queste oscillazioni con quelle di un pendolo che compie un'oscillazione in un secondo meno un centesimo di secondo: mentre i bilanceri compiono 99 oscillazioni il pendolo, che diremo di riferimento, ne compie 100 cioè ogni 99 minuti secondi ognuno dei bilanceri si trova in coincidenza col pendolo di confronto che nel frattempo ha fatto 100 oscillazioni.

Ma può darsi che mentre il bilancere di A si trova in coincidenza col pendolo alla 100^{esima}, 200^{esima}, 300^{esima} oscillazione l'altro si trovi in coincidenza alla 113^{esima}, alla 213^{esima}, alla 313^{esima} oscillazione del pendolo di riferimento: che cosa se ne potrà dedurre? che le oscillazioni dell'orologio B sono in ritardo di 13 centesimi di minuto secondo su quelle dell'orologio A e la differenza di tempo fra i due orologi oltre i secondi letti direttamente è 0,13. Non si creda peraltro che la determinazione delle coincidenze sia facile e di più sarebbe inutile applicarla ad un orologio trasportato da un posto all'altro, perchè questo non conserverebbe più il tempo con l'esattezza del centesimo di minuto secondo. — Bisogna quindi che i due orologi rimangano ciascuno al proprio posto, ed allora come si farà? Trasmettendo il tempo di uno dei suoi orologi colla telegrafia o con la radiotelegrafia. — « Per facilitare la precisione nel ricevimento dell'ora - scrive il Bigourdau - [1] sopratutto nelle ricerche astronomiche e geodetiche del febbraio 1912, oltre i segnali ordinari (dalla torre Eiffel) si inviano dei segnali scientifici a ritmo che hanno reso possibile il confronto dei pendoli per coincidenza. Così questi confronti possono raggiungere la precisione di 1/100 di secondo ed anche più se è necessario ».

Determinazioni accurate erano già state eseguite per mezzo della telegrafia ordinaria: ma nel maggio del 1922 al Congresso Internazionale Astronomico Geodetico di Roma fu approvato un progetto di determinazione di differenze di longitudine mondiali per mezzo della Radiotelegrafia. Per iniziativa del Prof. Alessio, Direttore dell'Istituto Idrografico della R. Marina di Genova, in collaborazione coi Prof. Bemporad, Antoniazzi e Bianchi, Direttori rispettivamente degli Osservatori di Napoli, Padova e Milano, si organizzò un complesso di ricerche per determinare con questo mezzo le differenze di longitudine tra dette Specole. Parimente colla radiotelegrafia il professor L. Volta ha determinato la longitudine dell'Osservatorio di

---

[1] *Le jour et ses divisions.* Annuaire du Bureau des Longitudes 1914. B. pag. 82.

Pino Torinese di cui è direttore, e il Prof. E. Bianchi ha misurato le differenze di longitudine fra l'Osservatorio di Brera e la succursale di Merate.

5. — **Il giorno e le sue divisioni.** — Il tempo locale che ci ha servito per comprendere come si misura la longitudine prende la denominazione di *tempo vero* in opposizione al *tempo medio* di cui ora dobbiamo parlare. Se il Sole avesse una posizione fissa fra le stelle, la stella che culmina insieme al Sole oggi, culminerebbe insieme anche domani; ma il Sole si sposta apparentemente lungo quella linea che sulle Tav. I, V, VI, è designata col nome di *eclittica*, e per conseguenza quella stella che oggi culmina con lui, domani passerà al meridiano *prima* di lui. Dal giorno solare, che abbiamo definito nel § 4, distingueremo dunque il **giorno sidereo**; — e questo si definisce: l'intervallo di tempo che corre fra due passaggi consecutivi di una stella a un dato meridiano.

Più rigorosamente il *giorno sidereo* o *siderale* è il tempo che trascorre fra due ritorni al meridiano superiore del punto equinoziale di primavera (Ariete ♈), origine delle ascensioni rette e delle longitudini 0^h (0^m); ed è uguale a $23^h\,56^m$ e $4^s,091$ di tempo medio: è dunque più corto del giorno medio, di $3^m\,55^s,909$. Il giorno siderale non è pertanto l'intervallo di tempo che corre tra due passaggi consecutivi di una stella a un dato meridiano; ma è uguale all'intervallo che corre fra due passaggi consecutivi a un dato meridiano di una stessa stella, *supposta* assolutamente fissa sulla sfera celeste, *corretta* dello spostamento dovuto alla precessione degli equinozi, di cui parleremo in seguito. La durata della rotazione della Terra non è identica ad un giorno sidereo, ma è ad esso molto vicina, facendosi in $23^h\,56^m\,4^s,099$ di tempo medio. La differenza di 8 millesimi tra queste durate, la quale in apparenza è minima, è per contrario importantissima; se non se ne tenesse conto nei calcoli delle Effemeridi per le ascensioni rette delle stelle, essi finirebbero per essere tutti falsati. — Il giorno sidereo è di una durata *quasi* rigorosamente costante, e perciò si scelse come unità fondamentale della misura del tempo in astronomia. L'Astronomia di osservazione è fondata sulla invariabilità del giorno sidereo. Il punto di partenza del giorno sidereo, $0^h\,0^m\,0^s$, essendo il punto di origine come dicemmo delle ascensioni rette, l'ascensione retta di un astro, al suo passaggio al meridiano superiore, indica il *tempo siderale* a questo istante, e se è questione del Sole medio, indica il tempo *sidereo a mezzodì medio.* Il tempo sidereo a mezzodì medio aumenta ogni giorno di $3^m\,56^s,5553$; questa quantità chiamasi **accelerazione delle stelle fisse** (per rapporto al Sole).

Un orologio regolato sul tempo sidereo, quale adoperasi negli Osservatori, chiamasi *orologio siderale.*

Nella fig. 25 siano *m* il centro della Terra, *C* il Sole, *m C* la normale alla *ab*; andando la Terra in *n*, è evidente che per disporre ancora il diametro *ab* normale al raggio solare *Cn*, dovrà farlo passare da *xy* in *sv*. Per la sua immensa distanza, una stella *A* sarebbe stata vista sulla medesima direzione in *m* e in *n*: in *n* però quando culmina la stella *A*, non culmina più il Sole, il quale culminerà

invece soltanto dopo che la Terra avrà descritto anche l'arco corrispondente all'angolo *AnC*: è questo l'angolo che misura di quanto il giorno solare è più lungo del giorno sidereo.

Dall'ispezione di questa medesima figura potete anche dedurre la ragione della *ineguaglianza* dei giorni solari. Di vero: gli archi di cui il Sole si sposta ogni giorno fra le stelle non sono tutti eguali [1]; quando dunque l'arco di spostamento sarà *mn*, l'eccesso del giorno solare sul sidereo sarà l'angolo *AnC*: quando invece l'arco sarà minore o maggiore di *mn*, anche l'eccesso varierà e sarà in corrispondenza o minore o maggiore. — Di qui l'altra distinzione del **giorno solare medio** e del **giorno solare vero.** Il *giorno solare vero,* come sopra abbiamo già detto, è l'intervallo di tempo compreso tra due passaggi consecutivi del Sole al medesimo meridiano: il *medio* è la media aritmetica dei giorni solari veri. Addizionate le durate dei giorni *veri* di un anno e poi dividete il totale per il numero di questi giorni; l'eccesso degli uni compenserà il difetto degli altri, e la durata del giorno così ottenuta sarà il giorno medio. Ai 16 di settembre il giorno vero è il più breve e il medio lo sorpassa di 21″; ai 23 di dicembre invece il giorno vero è il più lungo ed il medio allora è sorpassato di 30″. — Tanto il giorno *vero* come il *medio* si dividono in 24 ore, misurate, per il tempo vero dalle **meridiane,** per il medio dai cronometri esatti. La differenza che passa tra le ore del tempo vero e quelle del medio, si chiama **equazione del tempo,** e questa è *nulla* quattro volte all'anno (15 aprile, 14 giugno, 31 agosto, 25 dicembre); *negativa* (il *t. medio* avanza sul *vero*) dal 25 dicembre al 15 aprile e dal 14 giugno al 31 agosto; *positiva* (il *t. medio* ritarda sul *vero*) dal 15 aprile al 14 giugno e dal 31 agosto al 25 dicembre. La differenza che esiste nell'equazione del tempo di due giorni consecutivi, dà la differenza tra il giorno vero ed il medio. In media poi l'eccesso del giorno medio sul sidereo è di $3^m\ 56^s,57$. — La equazione del tempo, conosciuta imperfettamente da Ticone, venne per la prima volta calcolata esattamente da Flamsteed nel 1672.

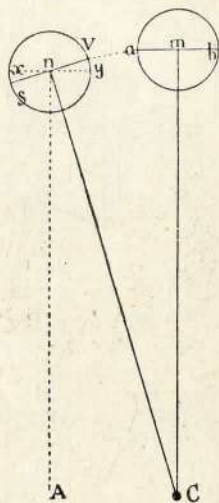



Fig. 25.

L'equazione del tempo è dunque il numero di minuti e frazione di minuto che si devono aggiungere o togliere al tempo medio per avere il tempo vero. — Alcuni fenomeni si esprimono talvolta in

[1] Vedi 3 *A*) di questo capitolo.

tempo vero e bisogna poi ridurli a tempo medio: la correzione da farsi al tempo vero per ottenere il tempo medio si chiama pure equazione del tempo, e per distinguerla dalla prima la diremo **equazione del tempo medio.** L'equazione del tempo medio avrà pertanto segni opposti a quella che si chiama semplicemente equazione del tempo.

Il seguente specchietto dà l'equazione del tempo per il 1°, l'11 e il 21 di ciascun mese:

DATA		EQUAZIONE DEL TEMPO		DATA		EQUAZIONE DEL TEMPO	
		m	s			m	s
Gennaio	1	−3	17	Luglio	1	−3	29
	11	−7	44		11	−5	12
	21	−11	13		21	−6	11
Febbraio	1	−13	37	Agosto	1	−6	14
	11	−14	23		11	−5	13
	21	−13	51		21	−3	16
Marzo	1	−12	38	Settembre	1	−0	14
	11	−10	22		11	+3	5
	21	−7	32		21	+6	37
Aprile	1	−4	12	Ottobre	1	+10	2
	11	−1	19		11	+13	0
	21	+1	8		21	+15	11
Maggio	1	+2	51	Novembre	1	+16	19
	11	+3	42		11	+16	0
	21	+3	37		21	+14	16
Giugno	1	+2	29	Dicembre	1	+11	11
	11	+0	44		11	+7	3
	21	−1	22		21	+2	15

Questa tavola precedente è quella dell'anno 1927 riferita a mezzogiorno del meridiano di Catania; ma può servire anche per gli altr'anni e meridiani salvo una differenza di pochi secondi.

Volendo trasformare l'*equazione del tempo* in *equazione del tempo*

medio, quale l'abbiamo definita precedentemente, il prospetto si cambierebbe in quello che segue:

DATA		EQUAZIONE DEL TEMPO MEDIO		DATA		EQUAZIONE DEL TEMPO MEDIO	
		m	s			m	s
Gennaio	1	+3	17	Luglio	1	+3	29
	11	+7	44		11	+5	12
	21	+11	13		21	+6	11
Febbraio	1	+13	37	Agosto	1	+6	14
	11	+14	23		11	+5	13
	21	+13	51		21	+3	16
Marzo	1	+12	38	Settembre	1	+0	14
	11	+10	22		11	−3	5
	21	+7	32		21	−6	37
Aprile	1	+4	12	Ottobre	1	−10	2
	11	+1	19		11	−13	0
	21	−1	8		21	−15	11
Maggio	1	−2	51	Novembre	1	−16	19
	11	−3	42		11	−16	0
	21	−3	37		21	−14	16
Giugno	1	−2	29	Dicembre	1	−11	11
	11	−0	44		11	−7	3
	21	+1	22		21	−2	15

Anche il tempo legale ha la sua equazione, che, per distinguerla dalle precedenti, chiameremo **equazione del tempo legale** e rappresenta i minuti da aggiungere o togliere al tempo vero per ottenere il tempo legale. Quest'ultimo si può chiamare anche **tempo nazionale** in opposizione ai tempi propri di ogni meridiano che si chiamano tempi locali. Questi si leggono in pratica sulle antiche meridiane, ed è assai se si possono determinare coll'approssimazione di un minuto primo. I seguenti prospetti intitolati: « Tavola dell'equazione del tempo legale d'Italia » contengono per le differenti longitudini i minuti da aggiungere o da togliere in ogni giorno dell'anno al tempo letto sugli antichi orologi solari per ottenere il tempo indicato dagli orologi degli uffici pubblici.

Un tempo si distingueva il giorno medio in *civile* ed *astronomico:* il civile si computava da una mezzanotte all'altra, da 0 a 24 ore; l'astronomico invece da un mezzodì all'altro, contando pure le ore da 0 a 24 e cominciando a metà del giorno civile già in corso.

Dal 1° gennaio 1925 si è abolita questa distinzione e gli almanacchi astronomici segnano l'inizio della giornata dalla mezzanotte, come si fa per gli usi civili.

Prima di passar oltre, dobbiamo prendere cognizione di alcune modificazioni e di alcuni vantaggi che gli usi civili hanno dato nel computo delle ore. — Negli almanacchi, per es., al 1° di febbraio vedrete detto che la sera si allunga di 28 minuti: troppo, rispetto a quello che comporterebbe la stagione; e domandasi: ma perchè si allunga la sera e non il mattino? — Chiamiamo *sera* tutta la 2ª parte, *mattino* tutta la 1ª parte della giornata, e rispondiamo che l'anomalia è apparente, non reale, e che dipende dalla equazione del tempo. A mezzodì vero il Sole è difatti egualmente distante dal punto nel quale è nato e dal punto nel quale tramonterà, ma i nostri orologi *a mezzodì vero* non segnano le 12, bensì le $12{,}13^m\ 37^s$: essi rubano adunque, il 1° febbraio, quasi 14 minuti al mattino e li aggiungono alla sera, ed è in questo modo che conducono ad un eccesso totale di 28^m della sera sul mattino.

Le osservazioni fatte nel paragrafo della longitudine ci fanno comprendere che l'uso delle diverse ore locali ingenera troppe difficoltà nelle ferrovie e nei telegrafi: di qui i diversi progetti per l'adozione di un'**ora universale**, il migliore dei quali quello dei 24 **fusi orari** col meridiano di Greenwich come iniziale. Con questo sistema il *giorno civile* corre *da mezzanotte a mezzanotte*, e si divide in ore che si numerano regolarmente da 1 a 24: queste ore l'Italia ufficiale sino dal 1° novembre 1893, le computa, come dicemmo, col meridiano dell'Europa centrale, ossia col meridiano dell'Etna, che anticipa di 10 m. su quello di Roma, di 23 m. su quello di Milano ecc. Quando a Termoli in *tempo medio* sono le 12, a Greenwich sono le 11: a Milano invece il tempo medio locale dà le $11{,}37^m$, mentre gli orologi pubblici segnano le 12.

Per regolare tutti gli orologi pubblici sul tempo medio dell'Etna sono utili le segnalazioni che ha iniziato l'*Unione Radiofonica Italiana*. Essa trasmette alle 22^h di ogni giorno l'ora nazionale ricevuta dall'Osservatorio del Campidoglio. — « A scanso di ogni equivoco - scrive il Direttore dell'Osservatorio Prof. G. Armellini - notiamo che la segnalazione delle 10 di sera all'Unione Radiofonica Italiana, viene fatta comunicando radiotelefonicamente lo *stop* alcuni minuti prima delle 10. Trattandosi quindi di un avviso dato a voce coi pubblici telefoni si comprende che la precisione raggiunta non potrà superare il *minuto secondo;* ma ciò basta per gli scopi per cui il servizio è istituito, che sono tutti d'ordine civile » [1].

---

[1] Calend. del R. Osserv. Astron. di Roma — 1926.

TAVOLA DELL'EQUAZIONE DEL TEMPO LEGALE D'ITALIA.

Le correzioni sono espresse in minuti primi d'ora.

Longitudine orientale da Greenwich.

DATA					6°45'	7°0'	7°15'	7°30'	7°45'	8°0'	8°15'	8°30'	8°45'	9°0'	9°15'	9°30'	9°45'	10°0'	10°15'	10°30'
1° mese dell'anno bisestile	Anno comune																			
31	30 gennaio	30 gennaio			+47	+46	+45	+44	+43	+42	+41	+40	+39	+38	+37	+36	+35	+34	+33	+32
26	25 »	24 (25) febbraio			46	45	44	43	42	41	40	39	38	37	36	35	34	33	32	31
22	21 »	2 marzo			45	44	43	42	41	40	39	38	37	36	35	34	33	32	31	30
19	18 »	7 »			+44	+43	+42	+41	+40	+39	+38	+37	+36	+35	+34	+33	+32	+31	+30	+29
16	15 »	11 »			43	42	41	40	3	38	37	36	35	34	33	32	31	30	29	28
14	13 »	14 »			42	41	40	39	38	37	36	35	34	33	32	31	30	29	28	27
11	10 »	18 »			+41	+40	+39	+38	+37	+36	+35	+34	+33	+32	+31	+30	+29	+28	+27	+26
9	8 »	21 »			40	39	38	37	36	35	34	33	32	31	30	29	28	27	26	25
6	5 »	24 »	15 luglio	15 luglio	39	38	37	36	35	34	33	32	31	30	29	28	27	26	25	24
4	3 »	23 »	7 »	8 agosto	+38	+37	+36	+35	+34	+33	+32	+31	+30	+29	+28	+27	+26	+25	+24	+23
2	1 gennaio	31 marzo	2 luglio	15 »	37	36	35	34	33	32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22
1		3 aprile	27 giugno	20 »	36	35	34	33	32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21
Bimestri precedenti all'anno bisestile																				
29	28 dicembre	7 »	22 »	21 »	+35	+34	+33	+32	+31	+30	+29	+28	+27	+26	+25	+24	+23	+22	+21	+20
27	26 »	10 »	18 »	27 »	34	33	32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19
25	24 »	14 »	13 »	31 agosto	33	32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18
23	22 »	18 »	8 »	3 settem.	+32	+31	+30	+29	+28	+27	+26	+25	+24	+23	+22	+21	+20	+19	+18	+17
21	20 »	23 »	2 giugno	6 »	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
19	18 »	28 aprile	24 maggio	9 »	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15
17	16 »	6 maggio	6 magg.	12 »	+29	+28	+27	+26	+25	+24	+23	+22	+21	+20	+19	+18	+17	+16	+15	+14
15	14 »			15 »	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13
13	12 »			18 »	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12
11	10 »			20 »	+26	+25	+24	+23	+22	+21	+20	+19	+18	+17	+16	+15	+14	+13	+12	+11
8	7 »			23 »	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10
6	5 »			26 »	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9
3	2 dicembre			29 settem.	+23	+22	+21	+20	+19	+18	+17	+16	+15	+14	+13	+12	+11	+10	+ 9	+ 8
	30 novembre			2 ottobre	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7
28	27 »			6 »	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6
25	24 »			9 »	+20	+19	+18	+17	+16	+15	+14	+13	+12	+11	+10	+ 9	+ 8	+ 7	+ 6	+ 5
21	20 »			13 »	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4
15	14 novembre			17 »	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3
24	23 ottobre			23 ottobre	+17	+16	+15	+14	+13	+12	+11	+10	+ 9	+ 8	+ 7	+ 6	+ 5	+ 4	+ 3	+ 2

Continua la TAVOLA DELL'EQUAZIONE DEL TEMPO LEGALE D'ITALIA.

Le correzioni sono espresse in minuti primi d'ora.

Longitudine orientale da Greenwich.

	DATA	Anno comune				10°45′	11°0′	11°15′	11°30′	11°45′	12°0′	12°15′	12°30′	12°45′	13°0′	13°15′	13°30′	13°45′	14°0′	14°15′	14°30′
1° mese dell'anno bisestile	31	30 gennaio	30 gennaio			+31	+30	+29	+28	+27	+26	+25	+24	+23	+22	+21	+20	+19	+18	+17	+16
	26	25 »	24 (25) febbraio			30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15
	22	21 »	2 marzo			29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14
	19	18 »	7 »			+28	+27	+26	+25	+24	+23	+22	+21	+20	+19	+18	+17	+16	+15	+14	+13
	16	15 »	11 »			27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12
	14	13 »	14 »			26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11
	11	10 »	18 »			+25	+24	+23	+22	+21	+20	+19	+18	+17	+16	+15	+14	+13	+12	+11	+10
	9	8 »	21 »			24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9
	6	5 »	24 »	15 luglio	15 luglio	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8
	4	3 »	23 »	7 »	8 agosto	+22	+21	+20	+19	+18	+17	+16	+15	+14	+13	+12	+11	+10	+ 9	+ 8	+ 7
	2	1 gennaio	31 marzo	2 luglio	15 »	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6
	1		3 aprile	27 giugno	20 »	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5
Bimestri precedenti all'anno bisestile	29	28 dicembre	7 »	22 »	24 »	+19	+18	+17	+16	+15	+14	+13	+12	+11	+10	+ 9	+ 8	+ 7	+ 6	+ 5	+ 4
	27	26 »	10 »	18 »	27 »	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3
	25	24 »	14 »	13 »	31 agosto	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2
	23	22 »	18 »	8 »	3 settem	+16	+15	+14	+13	+12	+11	+10	+ 9	+ 8	+ 7	+ 6	+ 5	+ 4	+ 3	+ 2	+ 1
	21	20 »	23 »	2 giugno	6 »	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	+ 1	0
	19	18 »	28 aprile	24 maggio	9 settem.	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	+ 1	0	− 1
	17	16 »	6 magg.	6 maggio	12 »	+13	+12	+11	+10	+ 9	+ 8	+ 7	+ 6	+ 5	+ 4	+ 3	+ 2	+ 1	0	− 1	− 2
	15	14 »			15 »	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	+ 1	0	− 1	2	3
	13	12 »			18 »	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	+ 1	0	− 1	2	3	4
	11	10 »			20 »	+10	+ 9	+ 8	+ 7	+ 6	+ 5	+ 4	+ 3	+ 2	+ 1	0	− 1	− 2	− 3	− 4	− 5
	8	7 »			23 »	9	8	7	6	5	4	3	2	+ 1	0	− 1	2	3	4	5	6
	6	5 »			26 »	8	7	6	5	4	3	2	+ 1	0	− 1	2	3	4	5	6	7
	3	2 dicembre			29 settem.	+ 7	+ 6	+ 5	+ 4	+ 3	+ 2	+ 1	0	− 1	− 2	− 3	− 4	− 5	− 6	− 7	− 8
		30 novembre			2 ottobre	6	5	4	3	2	+ 1	0	− 1	2	3	4	5	6	7	8	9
	28	27 »			6 »	5	4	3	2	+ 1	0	− 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	25	24 »			9 »	+ 4	+ 3	+ 2	+ 1	0	− 1	− 2	− 3	− 4	− 5	− 6	− 7	− 8	− 9	−10	−11
	21	20 »			13 »	3	2	+ 1	0	− 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	15	14 novembre			17 »	2	+ 1	0	− 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	24	23 ottobre			23 ottobre	+ 1	0	− 1	− 2	− 3	− 4	− 5	− 6	− 7	− 8	− 9	−10	−11	−12	−13	−14

Continua la TAVOLA DELL'EQUAZIONE DEL TEMPO LEGALE D'ITALIA.

Le correzioni sono espresse in minuti primi d'ora.

Longitudine orientale da Greenwich.

	DATA					14°45'	15°0'	15°15'	15°30'	15°45'	16°0'	16°15'	16°30'	16°45'	17°0'	17°15'	17°30'	17°45'	18°0'	18°15'	18°30'
		Anno comune																			
1° mese dell'anno bisestile	31	30 gennaio	30 gennaio			+15	+14	+13	+12	+11	+10	+ 9	+ 8	+ 7	+ 6	+ 5	+ 4	+ 3	+ 2	+ 1	0
	26	25 »	24 (25) febbraio			14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	+ 1	0	− 1
	22	21 »	2 marzo			13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	+ 1	0	− 1	2
	19	18 »	7 »			+12	+11	+10	+ 9	+ 8	+ 7	+ 6	+ 5	+ 4	+ 3	+ 2	+ 1	0	− 1	− 2	− 3
	16	15 »	11 »			11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	+ 1	0	− 1	2	3	4
	14	13 »	14 »			10	9	8	7	6	5	4	3	2	+ 1	0	− 1	2	3	4	5
	11	10 »	18 »			+ 9	+ 8	+ 7	+ 6	+ 5	+ 4	+ 3	+ 2	+ 1	0	− 1	− 2	− 3	− 4	− 5	− 6
	9	8 »	21 »			8	7	6	5	4	3	2	+ 1	0	− 1	− 2	3	4	5	6	7
	6	5 »	24 »	15 luglio	15 luglio	7	6	5	4	3	2	+ 1	0	− 1	2	3	4	5	6	7	8
	4	3 »	23 »	7 »	8 agosto	+ 6	+ 5	+ 4	+ 3	+ 2	+ 1	0	− 1	− 2	− 3	− 4	− 5	− 6	− 7	− 8	− 9
	2	1 gennaio	31 marzo	2 luglio	15 »	5	4	3	2	+ 1	0	− 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	1		3 aprile	27 giugno	20 »	4	3	2	+ 1	0	− 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Bimestri precedenti all'anno bisestile	29	28 dicembre	7 »	22 »	24 »	+ 3	+ 2	+ 1	0	− 1	2	− 3	− 4	− 5	− 6	− 7	− 8	− 9	−10	−11	−12
	27	26 »	10 »	18 »	27 »	2	+ 1	0	− 1	2	− 3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	25	24 »	14 »	13 »	31 agosto	+ 1	0	− 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	23	22 »	18 »	8 »	3 settem.	0	− 1	− 2	− 3	− 4	− 5	− 6	− 7	− 8	− 9	−10	−11	−12	−13	−14	−15
	21	20 »	23 »	2 giugno	6 »	− 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	19	18 »	28 aprile	24 maggio	9 »	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	17	16 »	6 maggio	6 maggio	12 »	− 3	− 4	− 5	− 6	− 7	− 8	− 9	−10	−11	−12	−13	−14	−15	−16	−17	−18
	15	14 »			15 »	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
	13	12 »			18 »	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	11	10 »			20 »	− 6	− 7	− 8	− 9	−10	−11	−12	−13	−14	−15	−16	−17	−18	−19	−20	−21
	8	7 »			23 »	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
	6	5 »			26 »	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
	3	2 dicembre			29 settem.	− 9	−10	−11	−12	−13	−14	−15	−16	−17	−18	−19	−20	−21	−22	−23	−24
		30 novembre			2 ottobre	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
	28	27 »			6 »	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
	25	24 »			9 »	−12	−13	−14	−15	−16	−17	−18	−19	−20	−21	−22	−23	−24	−25	−26	−27
	21	20 »			13 »	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
	15	14 novembre			17 »	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
	24	23 ottobre			23 ottobre	−15	−16	−17	−18	−19	−20	−21	−22	−23	−24	−25	−26	−27	−28	−29	−30

Peraltro, come tutte le cose umane, anche il sistema dei fusi orari ha i suoi difetti, ma ha reso già dei segnalati servizi nei telegrafi e nelle grandi ferrovie (linea da Nuova-York a S. Francisco, Transiberiana ecc.) e in tutte le comunicazioni di carattere internazionale.

Il sistema dei fusi orari preludia al trionfo *dell'ora universale* su tutta la Terra.

6. — **Anno tropico ed anno civile.** — Nella fig. 18 a pag. 47, l'ellisse RAR'A' rappresenta l'orbita percorsa dalla Terra in un anno: l'anno è dunque il periodo di tempo impiegato dalla Terra nel compiere una rivoluzione intorno al Sole; per gli astronomi comincia nel punto R e dura giorni 365,24219879, ossia 365 giorni, 5^h 48^m e 45^s, 98 (nel 1900).

La durata dell'anno tropico è soggetta ad una leggerissima diminuzione secolare di circa mezzo secondo. Secondo Newcomb, tale diminuzione si calcolerebbe con la formula:

$$\tau = 365^g\ 5^h\ 48^m\ 45^s,975456 - 0,^s\ 530496\ t.$$

dove $t = n$ 100 anni a partire dal 1900.

Nel percorrere quest'orbita la Terra non è sempre alla stessa *altezza* rispetto al Sole, perchè, come si disse, l'eclittica è inclinata sul piano equatoriale di 23° 27'; di qui una variazione nella distribuzione della luce, che importa studiare. — Riportiamoci alle fig. 26 e 27, delle quali la prima (fig. 26) rappresenta la Terra nel piano dell'equatore ossia ai nodi RR' della fig. 18 p. 47; la seconda (fig. 27) la rappresenta al perielio e all'afelio. — Badate in primo luogo all'asse, che in tutte le quattro posizioni è rappresentato da rette (P P' P'' ecc.) *parallele tra di loro:* tale difatti è la direzione dell'asse nell'interno della Terra, e voi ne caverete subito la conseguenza che dunque anche la Terra, come tutti i corpi in rotazione (l'abbiamo detto più sopra), obbedisce alla legge del *parallelismo dell'asse.* A prima vista vi farà sorgere una difficoltà contro questa legge la costanza delle posizioni delle stelle: se la *Polare,* ad es., è sul prolungamento dell'asse (fig. 26) quando la Terra è in PP', come potrà essere sulla direzione del medesimo asse quando la Terra sarà passata in P''P'''? La difficoltà però è solo apparente, non reale; perchè, rispetto alla distanza delle stelle, la quantità EQ è *nulla,* sicchè, se voi foste nella *Polare,* a guardare con un canocchiale la Terra, *mantenendo al canocchiale la medesima direzione,* potreste benissimo vedere di lassù la Terra, e quando è in E e quando è in Q: nell'uno e nell'altro caso i raggi avrebbero direzioni che si potrebbero considerare come identiche.

Esaminiamo ora la Terra (fig. 26), in PP′: il **circolo d'illuminazione, o circolo terminatore della luce** (che è sempre un circolo massimo), passerà per i poli, e tutti i punti della Terra in un giorno avranno 12 ore di luce e 12 di tenebre. Altrettanto avverrà quando

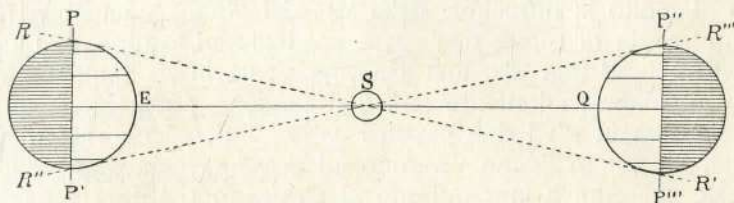



Fig. 26.

la Terra sarà in P″P‴; e noi diremo quindi che nei nodi (RR′ della fig. 18, pag. 47) il giorno *eguaglia* la notte, ossia che ivi abbiamo gli **equinozi.** Dal nodo R (fig. 18), ossia dell'equinozio di primavera, fate che la terra discenda in A: allora, come è chiaro dalla fig. 27, il circolo terminatore della luce avrà la direzione *mu′* e quindi, mentre all'Equatore il giorno e la notte sono sempre eguali (perchè due circoli massimi in una sfera si tagliano sempre in parti eguali), *sopra* l'Equatore i

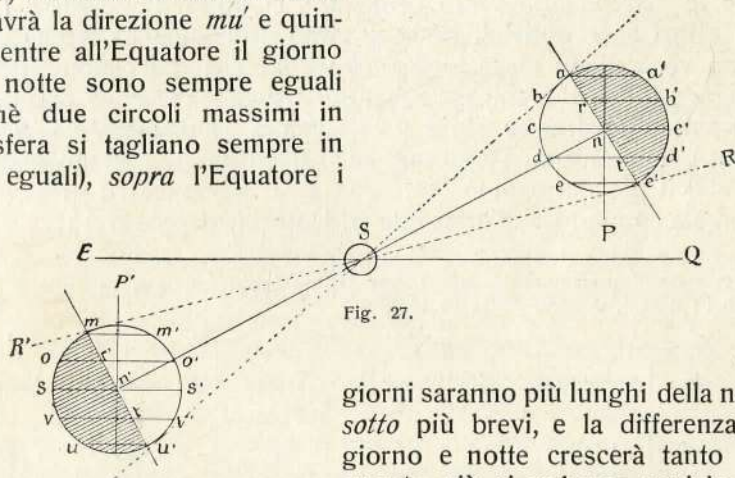



Fig. 27.

giorni saranno più lunghi della notte, *sotto* più brevi, e la differenza fra giorno e notte crescerà tanto più, quanto più ci andremo avvicinando ai poli. — Fate ora che la Terra salga in P (fig. 27), sopra il piano all'Equatore EQ, nel punto corrispondente al perielio (A′ della figura 18), e voi vedrete il circolo terminatore della luce assumere la direzione *ae′*. Che avverrà? giorni e notti saranno ancora ineguali, ma rispetto alla posizione precedente (P′ della fig. 27) si saranno scambiate le partite: saranno più lunghe le notti nell'emisfero boreale, più brevi nell'australe. — Prima di abbandonare queste

figure (26 e 27) è necessario che facciamo altre riflessioni. — 1° Se la Terra si movesse sempre nel piano dell'equatore, noi avremmo sempre (fig. 26) i giorni uguali alle notti. Qualcuno ha descritto questo stato di cose come una primavera perenne e l'ha desiderato: non ha pensato però che tale disposizione avrebbe ridotto di molto la diffusione della vita del globo, e impedita quella preponderenza di calore nell'estate, che matura i frutti. — 2° Quando la Terra è in P (fig. 27), una persona posta in *d*, a mezzogiorno, non darà ombra: altrettanto farà una persona posta in *o'*, quando la Terra sarà in P': i due paralleli *oo' vv' dd' bb'* che racchiudono i paesi, che lungo l'anno vengono ad avere successivamente il Sole verticale sul capo a mezzogiorno si chiamano **tropici**: *tropici* perchè, con una formula già usata da Omero [1] segnano le *conversioni* del Sole. — 3° Quando la Terra è in P (fig. 27), i raggi solari sfuggono tangenzialmente secondo la *Sa* e la SR: il circolo *aa'* avrà dunque 24 ore di notte ed il circolo *ee'* ne avrà invece 24 di giorno. Questi due paralleli si chiamano i *circoli polari*, e, come i tropici, rimutano le loro condizioni passando in P'. Sui poli adunque si alternano le notti e i giorni *di sei mesi* dall'uno all'altro equinozio; e discendendo verso l'equatore, si potranno segnare i così detti **climi astronomici**, ossia le **zone** nelle quali la durata di un giorno varia di un mese (nella calotta limitata dai circoli polari) o di mezz'ora (tra i circoli e l'equatore) rispetto alle zone contigue. I climi astronomici sono 30: e precisamente 24 di mezz'ora, 6 di un mese. A 45° (Milano, Bordeaux ecc.) il giorno più lungo è di ore 15,26^m e il più corto di 8,24^m: alla Terra di Francesco Giuseppe il Sole resta continuo sull'orizzonte 314 giorni, nascosto 127.

Lo specchietto seguente indica, per alcune latitudini, la durata massima del giorno in estate, e della notte in inverno.

Latitudine	Durata	Latitudine	Durata	Latitudine	Durata
0° 0'	12 h.	61° 19'	19 h.	67° 23'	1 mese
16 44	13	63 23	20	69 51	2 »
30 48	14	64 50	21	73 40	3 »
41 24	15	65 48	22	78 11	4 »
49 2	16	66 21	23	84 5	5 »
54 31	17	66 32	24	90 0	6 »
58 27	18				

[1] *Odiss.*, XV, 403.

Non va però dimenticato di avvertire che la rifrazione atmosferica *allunga* il giorno col **crepuscolo.** Il crepuscolo *civile* finisce quando il Sole è a 6° sotto l'orizzonte, l'*astronomico* quando è a 18°. Alla lat. di 45° il crepuscolo *astronomico* tocca un massimo di ore 2,35^m ai 15 di giugno, un minimo di ore 1,39^m ai 2 di Marzo e ai 13 di ottobre: il civile oscilla da 39^m (giugno) a 31^m (marzo), e nei calendari ecclesiastici con regola uniforme, lo si fa di mezz'ora. — 4° Allorchè la Terra percorre i tratti della sua orbita *in vicinanza* dell'afelio e del perielio, si sposta quasi parallelamente all'equatore e passa quindi, diciamo così, da destra a sinistra o da sinistra a destra, con una variazione molto piccola nell'altezza; il Sole sembrerà allora *stare* costante alla medesima declinazione, e i punti dell'orbita nei quali il fenomeno si presenta, si chiameranno quindi bene **solstizi.** Consultate la fig. 28, nella quale $x\ z\ v$ y..... rappresenta l'eclittica. Intorno all'afelio la Terra percorre l'arco $x\ z\ v$, mentre passando all'equinozio sale da v in y; proiettate le due curve sulla *ir* e vedrete quanta differenza presenteranno nelle variazioni di altezza: nel primo caso avrete soltanto la quantità *ru*, nel secondo *ua*. È per questo motivo che nel dicembre, nel giugno e nel luglio i giorni variano di poco e si mantengono anzi quasi uniformi nella temperatura, dando, si direbbe, delle stagioni stazionarie, ed è poi ancora per questo motivo che in febbraio-aprile e agosto-ottobre le giornate cambiano rapidamente e le stagioni precipitano. — Di qui un'altra ragione della ineguaglianza del movimento del Sole. Invero, lo spostamento del Sole ai solstizi, avvenendo quasi parallelamente all'Equatore, è *tutto* di ritardo per il suo passaggio al meridiano: presso gli equinozi invece, essendo questo spostamento solo in parte in longitudine, produce un ritardo minore nel passaggio al meridiano e raccorcia il giorno. Un sole che si movesse con *moto uniforme sull'Equatore* sarebbe adunque il solo che potrebbe misurare esattamente il tempo: questo sole fittizio gli astronomi se lo sono creato e l'hanno chiamato, come si disse, *sole medio.* — Per la nomenclatura si noti che si chiamano **coluri** i meridiani passanti per i punti equinoziali e per i solstiziali — **linea degli equinozi** la retta che unisce i punti equinoziali — e **linea degli absidi** la retta che unisce l'afelio col perielio. — 5° Le stagioni *astronomiche* si computano col tempo impiegato dalla Terra a passare da un equinozio al solstizio seguente e dal solstizio

Fig. 28.

all'equinozio: di qui i nomi di **equinozi di primavera** e **d'autunno,** e di **solstizi d'estate** e **d'inverno.** Attualmente la durata media delle stagioni è:

Primavera	giorni	92	ore	21	Autunno	giorni	89	ore	19
Estate	»	93	»	14	Inverno	»	89	»	0

La primavera e l'estate sono più lunghe perchè, durante il loro corso, la Terra percorre la parte *più lunga* della sua orbita e la percorre *camminando più lentamente.* — Noi abbiamo l'inverno quando siamo più vicini al Sole e l'estate quando ne siamo più lontani. Non dovrebbe avvenire il contrario? No. Osservate ancora le figure 26 e 27 e subito troverete la ragione del fatto. D'inverno i raggi del Sole ci arrivano *troppo obliqui* e con *giorni brevi* e quindi non possono riscaldarci: sopra di noi, se acquistano forza d'estate, egli è perchè agiscono *quasi verticali* e con *giornate lunghe.* Se le stagioni dipendessero unicamente dalla maggiore o minore distanza del Sole, esse non presenterebbero le differenze attuali. La quantità totale che il Sole ci manda al perielio sta difatti a quella che ci manda all'afelio come 1: 0,935. L'accumularsi di tutte queste circostanze dovrebbe rendere l'estate nell'emisfero australe assai più calda della nostra: anche di là però l'estate non è eccessiva, perchè dura quasi 8 giorni meno della nostra, e poi vi è abbondantemente mitigata dalla enorme preponderanza che le acque vi raggiungono in confronto delle terre. — 6° Finalmente, riassumendo, non sarà inutile avvertire che dunque i *perieci* avranno *stagioni eguali, ore opposte: gli anteci stagioni opposte, ore eguali, gli antipodi ore e stagioni opposte.*

Dal movimento della Terra deduciamo la misura del tempo. Per non introdurre frazioni di giorno, distinguiamo dall'*anno tropico* **l'anno civile,** e questo secondo, lo componiamo soltanto di giorni interi. Il calendario di Numa, basato sulle lunazioni, faceva l'anno di 355 giorni. Essendosi subito manifestato di troppo inferiore al solare, si credette di accomodarlo coll'inserire un 13mo mese, detto Marcedonio, di 22 giorni a vicenda ogni due anni tra il 23 e il 24 di febbraio; visto che anche questo provvedimento non rispondeva, si lasciò ai pontefici di determinare di volta in volta sul da farsi. — Giulio Cesare volle rimediare, e accettata dall'astronomo Sosigene la durata dell'anno solare di 365 giorni e 6 ore, ordinò: — che l'anno comune si computasse di 365 giorni; — che ogni 4 anni se ne facesse uno di 366, detto il *bisestile* dall'inserzione del giorno in eccesso tra il 23 e il 24 febbraio, colla formula *bis-sexto Kalendas Martii;* — che l'applicazione della riforma ossia il computo dei nuovi anni avesse avuto principio col 44 av. Cr. in accordo col Sole; — infine, che per correggere le omissioni incorse, i 90 giorni dimenticati

si fossero aggiunti all'anno precedente, cioè al 45 av. Cr., il quale risultò così di 445 giorni e venne detto *l'anno della confusione.*

Ma anche Giulio Cesare alla sua volta era incorso in errore accettando l'anno di 365 giorni e 6 ore, mentre esso non è che di g. 365, ore 5,48′ 46″. Quando dunque il suo calendario segnava *il Sole all'equinozio di primavera,* il Sole in realtà era già passato; e col sommarsi degli errori (quasi 11 minuti all'anno), alla fine del secolo XVI tale differenza era già salita a giorni 10. Osservate la fig. 29: i calendari supponevano la Terra, per es., in e′, mentre nel fatto si trovava in *e.* Come rimediare? *per il passato,* sopprimendo il tempo che si sarebbe domandato per andare da e′ in *e*, vale a dire (se è lecita l'espressione), raggiungendo il calendario con la Terra in *e: per l'avvenire,* provvedendo perchè tali discrepanze non si avessero più a rinnovare. E questo fece appunto il pontefice Gregorio XIII. Per cancellare l'errore passato, ingiunse egli adunque che l'indomani del *giovedì 4 ottobre 1582* si fosse detto *venerdì 15 ottobre 1582*: per impedire poi altri errori in futuro, ordinò che ogni 400 anni si fossero inseriti soltanto 97, non 100, bisestili, aggiungendo in seguito un bisestile soprannumerario ad ogni grande periodo di 3963 anni. Degli anni secolari fu bisestile il 1600 e lo saranno in futuro il 2000, il 2400, 2800 ecc.: non lo furono il 1700, il 1800, il 1900, e non lo saranno il 2100, il 2200, ecc. In generale ritenete la regola: sono bisestili *lungo il secolo* tutti gli anni divisibili per 4, *nel secolo* solo quelli che hanno divisibile per 4 la caratteristica secolare.

La riforma gregoriana, ossia il *nuovo stile,* fu accettata in Francia il 10-20 dicembre 1582 e nei paesi cattolici della Germania nel 1584. I protestanti, *preferendo essere in disaccordo col Sole piuttosto che d'accordo col Papa,* non l'accettarono che più tardi: nel 19 febbraio-1 marzo 1600 quei di Germania, e nel 3-14 settembre 1752 quelli d'Inghilterra. La Russia continuò (fino al crollo dell'Impero) nel *vecchio stile,* col calendario giuliano, rimanendo in ritardo di 13 giorni (dal 28 febbraio 1900) con le sue date rispetto a noi. — Il calendario gregoriano risponde assai bene al suo scopo di accordare le fasi della nostra vita con il Sole: potrebbe però essere ritoccato con vantaggio per rendere più uniformi le durate dei mesi e più omogenee le date.

Perchè l'anno non risulta da un numero esatto di settimane, due anni consecutivi non possono cominciare col medesimo giorno della settimana. Scrivete i nomi dei primi sette giorni dell'anno con l'ordine con il quale si presentano, e di fianco a ciascuno segnate progressivamente una lettera dell'alfabeto, dando A al 1°, B al 2°, C al 3°, e così di seguito D al 4°, E al 5°, F al 6°, G al 7°: di queste lettere si chiamerà **domenicale** quella che in quel dato anno corrisponderà alla domenica. — Negli anni bisestili la lettera domenicale

è doppia: la 1ª vale per i mesi di gennaio e di febbraio: la 2ª per gli altri dieci. — Ogni 28 anni le *lettere domenicali* ritornano col medesimo ordine. Questo periodo di 28 anni si chiama **Ciclo solare,** e fu introdotto fin dall'anno 9 av. Cr. Eccone il prospetto valevole dal 1901 al 2099: da questo anno va modificato perchè l'ordine delle lettere domenicali cambia ogni secolo, il cui anno secolare non è bisestile.

Ciclo solare	Lettera domenicale	Ciclo solare	Lettera domenicale	Ciclo solare	Lettera domenicale	Ciclo solare	Lettera domenicale
1	F E	8	D	15	B	22	G
2	D	9	C B	16	A	23	F
3	C	10	A	17	G F	24	E
4	B	11	G	18	E	25	D C
5	A G	12	F	19	D	26	B
6	F	13	E D	20	C	27	A
7	E	14	C	21	B A	28	G

Si desidera sapere qual sarà la lettera domenicale, per es., dell'anno 1930? Si aggiungono i nove anni del ciclo passati avanti la nostra êra e si divida per 28: il quoziente dà il numero dei cicli interi trascorsi, e il residuo il numero del ciclo in corso con la lettera corrispondente; se non rimane resto veruno, si considera 28 come resto. Si avrà: $(1930 + 9):28 = 69$ col residuo 7: saranno quindi, 7 il *ciclo solare* del 1930, e E la *lettera domenicale.* **L'indizione romana** non è che un periodo di 15 anni adottato 3 anni av. Cr. senza corrispondenza con i fenomeni del cielo. Per avere l'*indizione* di un dato anno si aggiunge 3 all'anno e si divide per 15: il resto è il numero cercato.

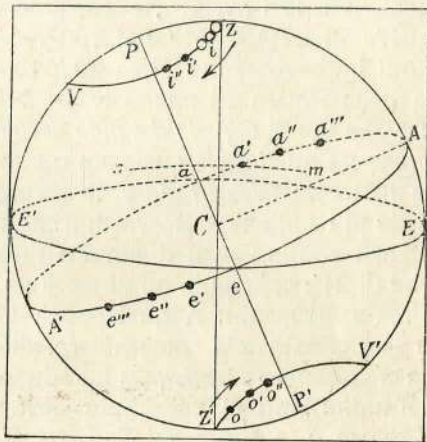
Il Congresso Internazionale degli astronomi tenutosi a Roma nel 1922 propose un progetto di *Riforma del Calendario,* in modo che tutti gli anni le stesse date cadessero nel medesimo giorno della settimana; in modo cioè di avere, come si dice brevemente, un *calendario perpetuo.* In linea di massima, questa proposta consiste nel considerare il primo di gennaio (o i primi due giorni dell'anno se l'anno è bisestile) come *giorno bianco* senza numero nè nome. Esso cioè sarebbe semplicemente il *primo dell'anno (le jour de l'an)* senza essere nè domenica, nè lunedì ecc, e senza appartenere ad alcun mese. I 364 giorni restanti sarebbero divisi in quattro trimestri, ognuno dei quali comprenderebbe 91 giorni è cioè due mesi di 30 giorni ed uno (quello di mezzo) di 31. Così avrebbero 31 giorno i mesi di febbraio, maggio, agosto e novembre, e tutti gli altri

30 giorni. Ogni trimestre poi, essendo, come dicevamo, composto di 91 giorni, comprenderebbe 13 settimane esatte, ciò che assicurerebbe che tutti gli anni lo stesso giorno del mese verrebbe a cadere nello stesso giorno della settimana.

7. — **Movimenti secondari.** — Se la Terra fosse perfettamente sferica e non variassero periodicamente le sue distanze dagli altri corpi celesti, specialmente dal Sole e dalla Luna, i suoi movimenti continuerebbero semplici, quali li abbiamo accennati: ma la Terra è ben lontana dall'essere così omogenea nella forma e nei movimenti; di qui diversi altri movimenti, che alterano più o meno i primi e ad essi si sovrappongono come le piccole increspature sul vertice delle grandi onde.

A) Il primo e più importante di questi movimenti secondari è il **movimento conico**, che ha per effetto la **precessione degli equinozi o retrogradazione dei nodi**. Nella fig. 29, sono EE′ l'equatore, AA′ l'eclittica, ZZ′ i poli dell'equatore, PP′ i poli dell'eclittica *ea* i nodi. Supponete che l'asse, mantenendo costante la posizione

Fig. 29.

del centro C, faccia passare successivamente la sua estremità Z per i punti *i*, *i′*, *i″*... e l'estremità Z′ per i punti o, o′, o″: i due raggi CZ e CZ′ descriveranno due coni col vertice in C e con le basi simmetriche ZV e Z′V′. Quali gli effetti di questo movimento? Che l'equatore, conservando costante il suo angolo con l'eclittica (come si vede nell'arco *m a′n*), sposterà continuamente i nodi, i quali passeranno da *a* in *a′*, *a″*, *a‴*... e da *e* in *e′*, *e″*, *e‴*..., sicchè gli equinozi saranno continuamente anticipati. Questo movimento, dovuto all'azione del Sole e della Luna *(precessione luni-solare)* sul rigonfiamento equatoriale, è attualmente di 50″, 26 all'anno (1° 24′ per secolo), e fu avvertito già da Ipparco. Produce: — 1° L'ineguaglianza tra l'anno tropico e l'anno siderale. L'anno tropico o solare, come sopra abbiamo detto, è l'intervallo di tempo compreso tra due passaggi consecutivi del Sole all'equinozio di primavera: l'anno sidereo invece è il tempo necessario al Sole per ritornare alla medesima posizione rispetto alle stelle. Orbene, se l'equinozio in questo anno avviene (fig. 29) in *a* e nell'anno seguente avviene in *a′*, è evidente

che il Sole, dopo compiuto l'anno tropico, dovrà ancora percorrere l'arco *aa'* per compiere l'anno sidereo. L'anno tropico dura giorni 365.5^h.48^m.45^s,98: il sidereo 365,6^h.9^m.9^s,5. — 2° La variazione delle coordinate delle stelle, fatta eccezione della latitudine. Ed infatti, spostandosi il polo, si sposteranno tutte le *declinazioni*, e spostandosi il nodo equinoziale di primavera, per il quale passa il meridiano iniziale, si sposteranno le *ascensioni rette* e le *longitudini*. Per questo motivo i *Catologhi Stellari* indicano sempre l'anno per il quale sono fatti. La *Spiga* della Vergine, ad es., aveva la longitudine di 174° nell'anno 128 av. Cr., e secondo le misure di Maskelyne presentò quella di 201° 4′ 41″ nel 1802. — 3° A compiere un giro intero i nodi impiegheranno circa 25765 anni e in questo periodo muteranno la Stella Polare ed anche le stelle dei diversi orizzonti. Osservate le Tav. I e V, e il *Circolo del polo del mondo* che vi è segnato, vi farà comprendere quali delle stelle sono state, e quali successivamente saranno le nostre *polari*. La *Polare* attuale era a 12° di distanza dal polo all'epoca delle più antiche osservazioni: attualmente ne dista 1° 7′, e questa distanza continuerà a diminuire fino a quando verso il 2100 non sarà che di 21′; in seguito continuerà ad aumentare e diventerà di 46° dopo circa 13000 anni. A quell'epoca *Vega* non disterà dal polo che di 5° e sarà considerata come polare, allo stesso modo col quale 5000 anni fa era polare *α Dragone*. Quando però *Vega* sarà polare, nelle nostre latitudini non si vedrà più Sirio e invece si potranno contemplare *Canópo* e la *Croce del Sud*. — 4° Dalla precessione degli equinozi infine è stata imposta la distinzione dei *segni* dello zodiaco dalle *costellazioni*. Le costellazioni sono i gruppi di stelle distribuiti lungo la fascia zodiacale: i segni sono archi di 30°, attualmente *senza riguardo alle stelle:* le prime stanno fisse, i secondi si spostano seguendo gli equinozi. L'equinozio di primavera coincideva 23 secoli fa coll'apparente ingresso del Sole in *Ariete:* 23 secoli hanno però fatto retrogradare il nodo di 33° circa, e oggidì, all'equinozio di primavera, il Sole è dunque ancora lontano di un intero segno dello zodiaco (1 e $^1/_{12}$) dall'*Ariete*, trovandosi ancora nell'*Aquario* presso ad entrare in *Pesci*. Che si è fatto? Invece di mutare continuamente la formola, si sono spostati i segni. Dicono adunque i calendari per il 1924, che il Sole entra in *Ariete* e dà principio alla primavera a ore 22,21^m del 20 marzo? intendete che entra nel *segno*, vale a dire che comincia il primo dei 12 archi di 30° nei quali si è diviso lo zodiaco, primo arco, al quale si è conservato il nome di *Ariete:* non confondetelo però colla costellazione omonima, perchè in questa non entrerà che 32 giorni dopo. Riportatevi per un momento alla fig. 15: la Terra passando da T′ in T, verrà a trovarsi, in un determinato momento, sulla OO′: sarà quello l'istante nel quale avrà

principio la primavera e noi diremo che il *Sole entra in Ariete:* ma dove si trova la costellazione dell'*Ariete?* Sul cerchio esterno, tra due righe più marcate, sotto *Toro*, a destra, troverete un V arricciato alle estremità e che vorrebbe rappresentare le corna di un ariete: quello è il posto della costellazione.

B) Riportatevi ancora alla fig. 29. — L'asse terrestre nel passare da Z in V non descrive una superfice conica omogenea; invece la descrive oscillando ora al di qua, ora al di là della posizione media, con circonvoluzioni continue o ellissi, che hanno l'asse maggiore di 18",42 diretto verso il polo dell'eclittica, e il minore di 13",72, come si è cercato di esprimere coi circoletti descritti da Z in *i*. Il movimento che fa descrivere all'asse terrestre queste ellissi elementari si dice di **nutazione** e venne scoperto da Bradley prima (1727-1736), poi confermato da Lemonnier (1745). Ha il periodo di anni 18²/₃, come di anni 18²/₃ è il ciclo della Luna, ossia il tempo impiegato dalla Luna nel compiere il giro de' suoi nodi. La identità del periodo rivela subito una correlazione nei due fenomeni; dall'attrazione della Luna, più intensa sul rigonfiamento equatoriale che non sui poli, dipende la *nutazione lunare*. Oltre a questa ve ne è un'altra più piccolo dovuta al Sole e chiamata perciò *nutazione solare;* la variazione che ne risulta è periodica come la prima, e ritorna ai medesimi valori dopo una mezza rivoluzione della Terra intorno al Sole, cioè dopo mezzo anno. Le due nutazioni unite insieme prendono il nome di **nutazione luni-solare**.

C) Anche l'angolo sotto il quale l'eclittica incontra l'equatore **(obliquità dell'eclittica)**, non è costante. Era di 23° 54′ nel 1100 av. Cr. (Tcheou Koung): di 23° 36′ nell'880 d. Cr. (Albategnio): di 23° 28′ nel 1800 (Delambre); e al 1° gennaio 1896 non era più che di 23° 27′ 9″, 93. Forse fu Fracastoro (1483-1553) il primo a sostenere decisamente questa diminuzione, che poi solo più tardi (secolo XVII) gli astronomi ammisero concordi. Esagerando, si pensò in seguito che sarebbe anche venuto un giorno, nel quale il piano dell'eclittica si sarebbe confuso con quello dell'equatore: discussi però i valori del movimento, prima da Laplace (1825), poi da Stockwell (1873), si dovette conchiudere che anche la variazione dell'obliquità dell'eclittica è periodica, e che oscillerebbe, come tra limiti estremi, tra 24° 36′ e 21° 59′, in ragione di 0″,476 per anno. L'eclittica, oltre a questa variazione secolare, ha pure delle variazioni periodiche dovute alla nutazione; ne risulta che durante un periodo d'anni 18²/₃, essa oscilla intorno al valore medio, con uno spostamento massimo di 9″,21. Chiamasi **obliquità media** quella che si ottiene trascurando la nutazione. **L'obliquità vera o apparente** aumenta durante 9 anni circa, per diminuire in seguito durante lo stesso

tempo, ed è ora maggiore, ora minore dell'obliquità media. Inoltre, l'azione specialmente del Sole produce altre variazioni periodiche molto più deboli. — Dipendendo dalla obliquità dell'eclittica la posizione dei tropici e dei circoli polari, è evidente che la sua diminuzione influirà sulle *zone* terrestri avvicinando i tropici all'equatore, i circoli ai poli. Questa variazione è però tanto lenta che in pratica, per un tempo lunghissimo, la si potrà trascurare.

D) Anche il perielio non ha posizione costante e subisce esso pure uno spostamento continuo di 11″,5 all'anno (fig. 29) da A verso a‴ in senso opposto agli equinozi: chiamasi **spostamento degli absidi.** La longitudine del perielio è stata trovata di 277°35′ e 31″ nel 1690 da Flamsteed: di 279° 3′ 17″ nel 1775 da Delambre: di 280° 21′ 42″ nel 1850. Questo movimento influisce sulla durata delle stagioni, e rimontando nei secoli con gli elementi che ora ci fornisce, conduce a riconoscere che nel 1250 della nostra êra si eguagliavano nella durata la primavera coll'estate, l'autunno coll'inverno: nell'anno 4000 av. Cr. invece, coincidendo il perielio coll'equinozio di autunno, l'anno restava diviso in parti meglio simmetriche, e le durate della primavera e dell'estate, prese insieme, eguagliavano allora quelle dell'autunno e dell'inverno. — Si chiama **anno anomalistico** il tempo compreso tra i due passaggi consecutivi della Terra al perielio (o del Sole al perigeo). È più lungo dell'anno sidereo del tempo richiesto dal Sole per descrivere l'arco di spostamento di 11″,5. Il suo valore (nel 1900) era di 365 g. 6^h 13^m 53^s.

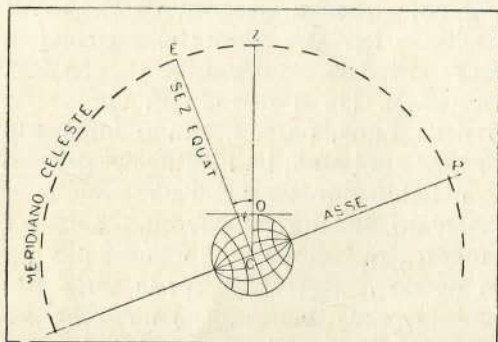



Fig. 30.

E) Abbiamo accennato [1] ad un modo con cui si può determinare la latitudine; i metodi oggi più in uso per misurarla sono quelli di Struve e quello Talcott-Horrebow.

Il primo consiste nel puntare il canocchiale verticalmente verso lo zenith ed aspettare che vi passi una stella; se ciò avviene, la declinazione della stella, ossia l'arco E Z, della fig. 30 è uguale, in ampiezza, all'arco di meridiano (alla latitudine) compreso fra l'equatore terrestre ed il punto O di osservazione. La declinazione

(1) Cap. II § 3.

della stella può oltrepassare di poco Z, o non raggiungerlo, ed allora si toglie o si aggiunge la piccola differenza per avere la latitudine.

Col metodo Talcott si prende di mira una stella a Nord ed un'altra a Sud tali che le loro distanze dallo zenith differiscano di poco fra loro. La distanza complessiva fra le due stelle può essere di 10°, 15°, ed anche 20 gradi. Se lo zenith non si trova perfettamente sulla bisettrice dell'angolo, la sua posizione dipende dalla differenza delle due stelle e per tale ragione il metodo che risale a Talcott-Horrebow è detto differenziale (1).

Con questi metodi perfezionati, come colle accurate determinazioni di longitudine si ottengono oggi le coordinate geografiche degli osservatori quali risultano dal prospetto della pag. seguente.

In questo prospetto vediamo che nelle ultime misure delle coordinate geografiche ci si accinge alla determinazione dei millesimi: però questa accuratezza ci ha posto dinanzi un problema nuovo: le longitudini e le latitudini sono immutabili? Al Congresso di Cambridge, la Commissione dell'Astronomia dinamica espresse fra gli altri il seguente voto: « Uno dei più urgenti problemi non è forse di assicurarsi se la rotazione della Terra è uniforme? » Dalla risoluzione di questo problema ci si ripromette di chiarire alcune questioni sulle orbite della Luna e di Marte. R. T. Junès pensa che la rotazione della Terra presenti delle variazioni a periodi secolari (2). Assai più sicuri siamo delle variazioni di latitudine e conseguentemente dei poli che si devono trovare a 90° di latitudine.

A Napoli (1885) e a Berlino (1884-1885) alcune osservazioni avevano fatto comprendere che le latitudini rispettive vi erano diminuite di circa due decimi di secondo, ed altrettanto assicuravano in seguito i risultati concordi di 4500 osservazioni eseguite appositamente dal 1889 al 1890 a Berlino, a Potsdam e a Praga. Se il fenomeno fosse dipeso da spostamenti dei poli, nell'altro emisfero si sarebbero dovuti verificare effetti eguali e di segno contrario! Per accertare la cosa, la Commissione geodetica internazionale mandò una spedizione a prendere misure ad Honolulu (isole Sandwich) e contemporaneamente (maggio 1891 — giugno 1892) fece ripetere le osservazioni nel nostro emisfero ancora a Berlino, a Potsdam, a Praga ed anche a Strasburgo: i risultati furono quali si erano preveduti, e posero fuori di dubbio che i poli della nostra Terra non occupano posizioni costanti, ma si spostano circa 15 metri, descrivendo una ellisse o,

---

(1) V. Boccardi, « Le moderne ricerche sulla variazione della longitudine » Pont. Acc. delle Scienze - Settimana Accademica 1923.

(2) R. T. Junès, « Variability of the Earth's rotation (1925) ».

COORDINATE DEGLI OSSERVATORI ITALIANI.

OSSERVATORIO DI	LATITUDINE BOREALE	AUTORE ED ANNO DELL'ULTIMA DETERMINAZIONE	LONGITUDINE E. DA GREENW.	AUTORE ED ANNO DELL'ULTIMA DETERMINAZIONE
BOLOGNA (Specola della R. Università)	44° 29′ 52″,77	Prof. Ciscato 1897	$0^h\ 45^m\ 24^s,49$	Prof. Ciscato 1897
CATANIA.	37° 30′ 13″	T. Zona 1894	$1^h\ 0^m\ 20^s,6$	Riccò-Zona 1894
FIRENZE (Arcetri – centro della cupola centrale)	43° 45′ 14″,44	Pubbl. Arcetri, 14	$0^h\ 45^m\ 1^s,30$	Astr. Nachr. 3993
GENOVA (Ist. Idrografico R. Marina – Strumento dei passaggi)	44° 25′ 8″,11	Diversi	$0^h\ 35^m\ 41^s,28$	Diversi
MERATE (Cerchio Meridiano)	45° 41′ 54″,789	L. Volta 1924	$0^h\ 37^m\ 42^s,911$	Bianchi-Volta-Martin 1924
MILANO (Brera – centro della Torre Maggiore)	45° 27′ 59″,4	Volta - G. Forni 1911	$0^h\ 36^m\ 45^s,89$	E. Bianchi ed altri 1922
NAPOLI (Capodimonte)	40° 51′ 45″,725	Contarino 1898	$0^h\ 57^m\ 1^s,381$	Guerrieri 1922
PADOVA (Asse della Torre)	45° 24′ 1″,21	G. Silva 1919	$0^h\ 47^m\ 29^s,13$	T. Albrecht 1905
PALERMO (Centro del cerchio di Ramsden) . .	38° 6′ 44″,0	Piazzi 1791-92	$0^h\ 53^m\ 25^s,87$	Bakhuyzen's
PINO TORINESE (Padiglione del Piccolo meridiano)	45° 2′ 20″,95	P. Vocca 1925	$0^h\ 31^m\ 6^s,60$	L. Volta 1925
ROMA Oss. del Campidoglio (Strumento Meridiano)	41° 53′ 33″,17	G. Armellini 1921	$0^h\ 49^m\ 56^s,34$	G. Armellini 1921
» Spec. Vatic. (centro strumento dei passaggi)	41° 54′ 12″,44	P. J. Stein S. J. 1909	$0^h\ 49^m\ 48^s,26$	P. J. Stein S. J. 1909
TERAMO (Collurania)	42° 39′ 27″	Prof. Cerulli 1893	$0^h\ 54^m\ 55^s,8$	Prof. Cerulli 1893
TRIESTE.	45° 38′ 35″,5		$0^h\ 55^m\ 4^s,975$	

meglio, una spirale ravvolta da ovest ad est in un periodo di circa 434 giorni: tale curva fu detta **polodia** o luogo geometrico dell'emigrazione del polo.

La variazione dei poli ossia delle latitudini è così interessante per i lavori astronomici, che si stabilì di creare per studiarla sei stazioni poste sul 39° parallelo Nord. Di esse una appartiene all'Italia ed è situata a *Carloforte*, nell'isola S. Pietro presso le coste della Sardegna.

Variando la posizione dei poli, varia l'asse di rotazione che prende il nome di asse della **rotazione istantanea** e quindi il polo prende anche il nome di polo istantaneo. La meccanica condurrebbe a concludere che la polodia deve essere un cerchio descritto in un periodo

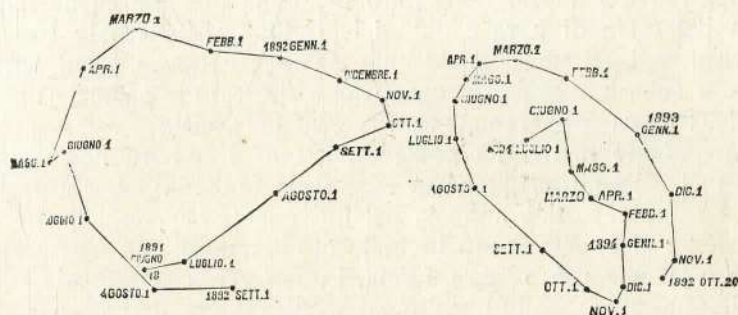



Fig. 31. — Variazioni dei poli.

di 304 giorni medii, mentre, come abbiamo detto, il valore medio del periodo è di 434 giorni: diciamo valore medio perchè la durata oscilla fra i 385 e 450 giorni. Quali le cause di questa considerevole differenza fra la teoria e la pratica? Le cause che allungano il periodo sono per ora sconosciute, ma si ritiene che siano di origine geofisica. Una delle conclusioni a cui porta l'emigrazione del polo è che non si può pretendere di trovare una latitudine immutabile fino al millesimo di minuto secondo e viceversa la ricerca di una determinazione accurata delle latitudini condusse a scoprire che l'equatore e quindi il polo sono variabili.

La variabilità del polo e quindi della latitudine di un posto sembra presentare periodi di durata secolare e altri periodi di breve durata che devono essere dovuti alle influenze giornaliere del Sole e della Luna.

Infine vi sono le **maree di terra** ossia gli elevamenti e abbassamenti della crosta terrestre che si verificano con lo stesso periodo delle maree, ne hanno la stessa spiegazione, e raggiungono all'equatore un'ampiezza di 40 cm.

Le maree della crosta terrestre sono state studiate partendo dal concetto che le maree oceaniche, da noi osservate, rappresentano in realtà la differenza tra lo spostamento totale dell'oceano e quello della crosta terrestre su cui si trova l'osservatore. Se potessimo calcolare esattamente l'altezza a cui l'oceano si deve elevare, e confrontassimo questo risultato con i dati di osservazione sull'altezza delle maree relativamente alle nostre sponde, la differenza fra teoria e osservazione ci darebbe l'oscillazione assoluta della crosta terrestre. Ma il calcolo non è facile ad eseguirsi con esattezza per l'influenza degli stretti, delle coste, ecc. — Michelson ha superato la difficoltà studiando con un microscopio le piccole maree prodotte dalla Luna su l'acqua stagnante che occupava una parte di un lungo tubo orizzontale. Trovato il valore assoluto dell'onda di mare se ne deduce quella dell'onda di terra e quindi la rigidità della crosta terrestre. Si arriva così ad una conclusione analoga a quella a cui portano gli studi sulla velocità di propagazione delle onde sismiche: la rigidità della Terra è paragonabile a quella dell'acciaio.

Gareggiante in rigidità coll'acciaio, non è la terra nostra inerte come una massa di metallo che esce dalla fonderia; nel suo insieme e nelle singole parti è animata dai movimenti più svariati che s'intrecciano e si compongono in mille modi, e pure non ce ne accorgiamo e la chiamiamo terra ferma. Lo spavento ci pervade se per qualche minuto secondo un'onda sismica agita il terreno sotto i nostri piedi; e che sarebbe avvenuto se le genti primitive avessero ad un tratto conosciute le conquiste degli studi faticosi dei nostri giorni? Si direbbe una materna previdenza la luce graduale che ci fornisce il Signore nella ricerca dei segreti della natura: per tal modo la fiducia che riponevamo nella supposta terra immobile, impariamo a riversarla in Colui che tutto muove, *in quo vivimus, movemur et sumus.*

CAPITOLO IV.

La Luna

—

1. *Aspetto e costituzione.* — 2. *Movimenti.* — 3. *La Luna nel calendario.* — 4. *Influenze lunari.*

1. — Aspetto e costituzione. — La Luna è il satellite della Terra e le si avvolge attorno in un'orbita press'a poco ellittica, come si avvolge la Terra attorno al Sole. Essa si può considerare come una sfera solida, avente il diametro di km. 3473,2, il volume di 21939000000 km. cubi (1/50 del volume della Terra), la superfice di 37936000 km. quadrati (poco meno della superfice delle Americhe), la densità di 3,33 (acqua=1), la massa di 1/81,45 (Terra=1), la distanza dalla Terra varia da 353700 a 421700 e i diametri apparenti *massimo* di 31′14″, *minimo* di 29′2″. Mettete 30 Terre in linea retta, e voi andrete con l'ultima a toccare la Luna; dividete in pezzi la Terra e voi ne caverete, per il volume, 50 Lune. La gravità sulla Luna è solo 0,166 di quella che si sente alla superfice del nostro globo: nel primo minuto secondo di caduta libera un corpo sulla Terra percorre m. 4,90: sulla Luna non percorrerebbe che m. 0,78: un quintale quaggiù, premerebbe soltanto per kg. 16,8 lassù.

Anche ad occhio nudo la superfice della Luna si manifesta non omogenea. Presso i diversi popoli l'idea più comune e persistente inspirata dalle macchie è stata quella di ravvisare sulla Luna una rappresentazione antropomorfica, e credettero difatti di vedervi una vecchia, i selvaggi dell'Orenoco; una donna col bambino, quelli dell'arcipelago Samoa; una donna che fila, quelli di Timor; un uomo carico di legna [1], i popoli nostri.

Scoperto il canocchiale (1608), tutte queste fantasie perdettero terreno: delle concezioni antiche non restò che il nome di *mari* per le chiazze più oscure, e cominciò invece con Evelio (1647), Riccioli,

[1] « *Caino e le spine* » Dante, *Inf.* XX, 126.

Cassini (1680), De La Hire (1640-1718), la cartografia lunare, che condusse poi ai lavori di sicuro valore scientifico di Mayer e di Mädler e sopratutto ai disegni di Schmidt e alle superbe fotografie degli osservatori di Parigi (*Atlante* di Loewy e Puiseux), di Praga, di California ecc.

Gettate lo sguardo su una carta della Luna (fig. 32 e 33), o, meglio, procuratevi il piacere di contemplarla in un canocchiale,

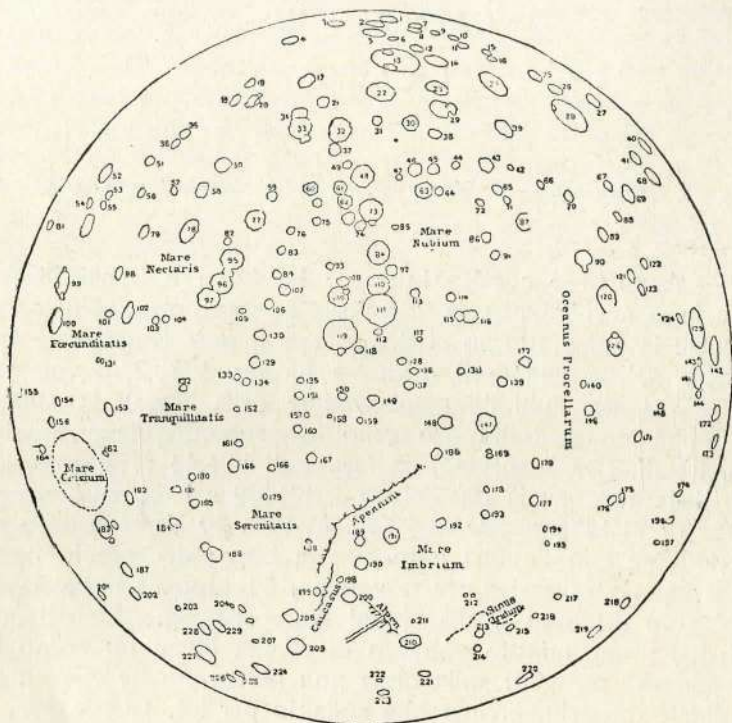



Fig. 32. — Carta schematica delle formazioni lunari (secondo Mädler) corrispondente alla fig. 33.

specialmente quando disegna in cielo soltanto un arco. Vi vedrete le macchie oscure di diversa larghezza e di diversa forma, tanto da permettere di essere distinte in *mari, laghi, seni, paludi,* con un fondo scabroso (dunque *senz'acqua* e solido): vi noterete delle strisce rettilinee o a curvatura leggera, lunghe 50-100 e perfino 200 km.: infine sulla parte più chiara, grazie ad un vivo contrasto delle ombre, ammirerete le montagne, di rado in catena, il più delle volte invece isolate e scavate nel centro a modo di **crateri vulcanici** o, meglio, di

circhi immensi. **I mari lunari,** sulla Terra, potrebbero lontanamente paragonarsi a deserti e brughiere: le **strisce** non trovano quaggiù termini di confronto, benchè qualcuno le abbia sognate strade e canali dei Seleniti, mentre forse altro non sono che screpolature o saldature di screpolature enormi: le **montagne,** fatta proporzione dei globi, sulla Luna sono più alte che non sulla Terra ed insieme più ripide

Fig. 33. — Luna piena (fotografia di Warren de la Rue).

e più frastagliate: i *crateri* infine, più che crateri vulcanici, sono *circhi* o *pianure circonvallate* o *montagne anulari,* perchè, a differenza dei crateri terrestri, hanno lunghissimo il diametro e talvolta il fondo con un rialzo nel centro e un livello più basso del piano esterno. — Ad esempio, *Copernico,* uno dei crateri, dal fondo alla cima delle montagne di contorno, misura 3440 m., mentre la montagna di contorno non si eleva che di 800 m. sul piano circostante esterno: è dunque di 2640 metri la depressione del suo fondo.

Perchè si possa giudicar meglio di questi accidenti della superficie lunare raccogliamo qui i valori di alcune misure:

a) *Crateri:*

Arzachel,	diametro,	km.	106
Gassendi	»	»	89
Plato	»	»	97
Tycho	»	»	87

b) *Profondità di alcuni circhi di montagne:*

Newton	m.	7250	Clavius	m.	5270
Casatus	»	6800	Tycho	»	5210
Curtius	»	6760	Pithagoras	»	5160
Callippus	»	5660	Short	»	5090
Theophilus	»	5560	Catharina	»	5010
Kircher	»	5440	Archimedes	»	2230

c) *Altezza di alcune cime:*

Monti Leibniz	m.	8200
Montagne Rocciose	»	4800-7900
Monti Dörffel	»	4500-6190

d) *Mari:*

Oceanus procellarum	area:	km.^{2}	495000
Mare Nubium	»	»	99000
» Imbrium	»	»	88000
» Serenitatis	»	»	33000

L'altezza delle montagne si misura dalla lunghezza dell'ombra in rapporto all'angolo d'incidenza della luce del Sole. Anche la forma delle creste si conosce dall'ombra. La fig. 34 ne mostra begli esempi.

Di *circhi* lunari con un diametro superiore ai 400 km. se ne contano soltanto tre: numerosissimi sono i minori — 630 col diametro da 5 a 10 km., 700 col diametro inferiore ai 5 km. (Fauth) — sicchè lo Schmidt crede di poter asserire che il globo della Luna è butterato da un totale di non meno di 100 mila di queste cavità. Secondo il medesimo Schmidt, le montagne che formano il contorno ai crateri hanno l'inclinazione di 25°-50° sull'orizzonte nel versante interno, e quella di soli 3°-8° nell'esterno: misure più recenti (di Fauth) dimostrano che la ripidezza del versante interno è in ragione del diametro del circo, ed è quindi di soli 11° 6′ per i circhi che hanno un diametro superiore ai 100 km., di 22° 7′ per quelli a diametro di km. 30-50, di 35° 5′ per gli altri a diametro minore di 30 km.

La Luna probabilmente non ha nè acqua, nè atmosfera. Che non abbia atmosfera lo persuadono i seguenti fatti: *a*) l'aspetto del suo disco, sempre nitido e con le montagne a contorni definiti, quindi non soggetto a quell'avvicendarsi delle nuvole e del sereno che

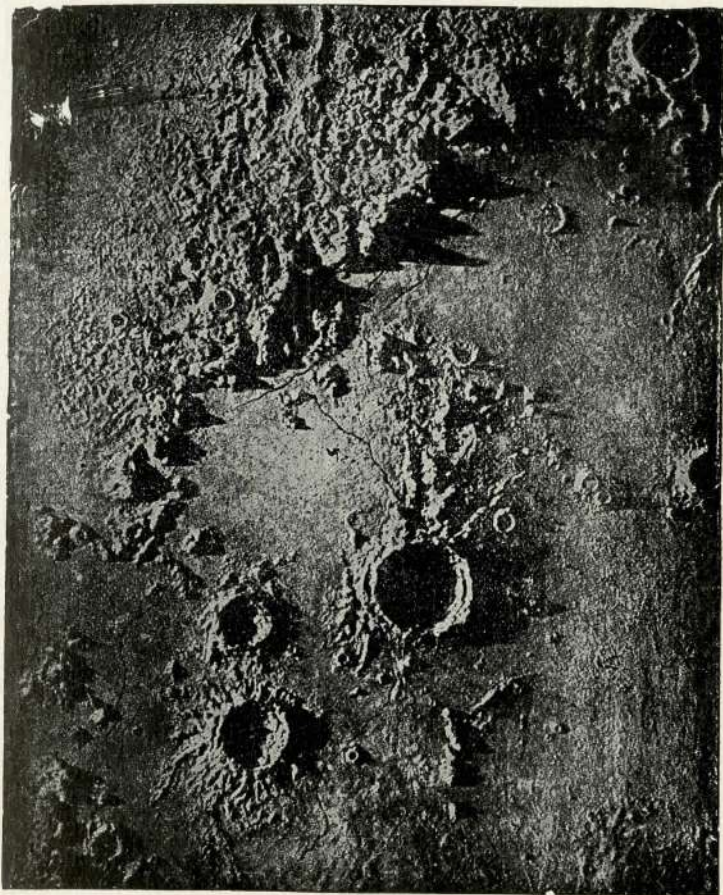



Fig. 34. — La catena degli Appennini sulla Luna.

proviamo sulla Terra; — *b*) la mancanza di righe speciali di assorbimento nello spettroscopio; — *c*) le occultazioni delle stelle, occultazioni che si compiono non con un appannamento lento e graduale, ma con un tratto reciso e istantaneo (tra le occultazioni sono importanti quelle delle Plejadi, delle quali ne avviene una in ogni periodo di 19 anni, e servono alla determinazione del diametro lunare. Una avvenne nel 1876, un'altra nel 1895, una terza nel 1914); —

d) la separazione della luce dalle tenebre sul disco per mezzo di una linea marcata e forte, senza nessuna traccia di crepuscoli intermedi, quali a noi prepara l'atmosfera. — Che non abbia acqua lo fanno pensare: *a)* i contorni delle montagne a spigoli taglienti, non arrotondati da degradazioni meteoriche analoghe a quelle della Terra; — *b)* la mancanza di vapori, che in un mondo senz'atmosfera avrebbero dovuto sollevarsi. — Contro questi argomenti si citano alcune occultazioni (ricordo quella dei satelliti di Giove del 7 agosto 1889) accompagnate da sfumature, — poi il cono d'ombra della Terra, che qualcuno asserisce d'aver visto disegnato sui cieli dietro e intorno alla Luna, — ed infine, secondo osservazioni di Pickering (1895), la comparsa di macchie oscure, *variabili* sui mari (specialmente sul *Mare tranquillitatis*), sui canali e nei crateri. Queste obiezioni ed altre analoghe che tralasciamo, hanno davvero un valore, e se non distruggono la sentenza che abbiamo proposta, certo non le lasciano però che la sola probabilità.

Dalla mancanza o almeno dalla estrema rarefazione [1] dell'atmosfera, ne viene una temperatura assai bassa per tutta la superfice lunare, anche nei punti esposti al Sole. Le esperienze di Langley, iniziate nel 1881 sul monte Whitney, hanno dimostrato che la temperatura della Terra si abbasserebbe a —45° se scomparisse l'atmosfera: cade dunque con ciò solo quanto si era pensato sui deserti lunari descritti come infocati e roventi al raggio di Sole, e per il nostro satellite non si può più ammettere che una temperatura non uniforme, in media uguale a zero od anche a —10° C. (Langley, Very, Boys ecc.) [2].

La storia delle epoche della Luna e lo studio della sua costituzione sono pure argomenti interessanti: purtroppo però sono insieme dei più difficili ed oggidì ancora imperfetti. Vi fu un tempo nel quale la Luna era totalmente fluida, come ora è invece, almeno a quanto pare, totalmente solida: tra queste due epoche estreme ve n'è stata certo un'altra, nella quale si saran formate le prime scorie solide chiamate a galleggiare sopra di una massa liquida centrale: le scorie si saranno in seguito dilatate, i diversi pezzi si saranno saldati come gli *icebergs* ai nostri poli, e si sarà infine avuta così una crosta com-

---

(1) Al presente siamo sicuri che se la Luna possiede un'atmosfera, questa è così rarefatta che rassomiglia tutt'al più al residuo che ottengono i fisici quando hanno raggiunto il vuoto più perfetto che si possa realizzare.

(2) Ora però si ammette che durante il corso di un *giorno lunare*, cioè d'una lunazione, la temperatura del suolo della Luna debba andar soggetta a grandi variazioni. Sembra che la temperatura alla metà della lunazione possa supporre +100° centigradi per ridiscendere a 50° sotto zero durante la notte lunare. Altri ritengono come certa una temperatura minima vicino allo zero assoluto, cioè una temperatura di circa 265° gradi sotto zero; ma per la temperatura massima v'è grande disaccordo.

pleta. Ma sarà stata subito anche resistente? Non lo si può credere, se si pensa che era sottile e non omogenea, e che ad intervalli, sui diversi punti, doveva ricevere urti enormi dalle maree destate dalla Terra sulla parte liquida interna. La crosta si sarà dunque spezzata lungo le linee di minor resistenza dando luogo a canali a reticolato poligonale, oppure nelle parti più deboli si sarà fatta turgida e bollosa come la pegola di Dante (1), per poi ricadere e *riseder compressa,* riversando dai margini le colate di lava che inalzavano gli anelli circolari: di qui strisce, circhi ecc. (2). — Anche le cause, per le quali la nostra Luna non ha più atmosfera, sono poco conosciute: chi pensa che acqua ed aria vi siano state assorbite e chi vuole invece che la massa gassosa si sia dispersa negli spazi perchè a rattenerla si è trovata insufficente la forza di attrazione, troppo debole, del nostro satellite.

Del resto non deve far meraviglia questa incertezza per i problemi del passato della Luna, dal momento che vediamo premerci ancora e domandarci una soluzione altri problemi del presente, che pure a primo aspetto si direbbero dei più ovvi. Si domanda, ad es.: è morta la Luna? In altri termini: l'evoluzione del nostro satellite è compiuta, oppure lassù abbiamo forze che continuano ad alterarla ancora, come fanno, ad es., i vulcani da noi? Il problema dell'attività lunare è da tempo che ci tormenta. Evelio prima, poi Herschel credettero già di aver assistito ad eruzioni di vulcani lunari. Klein affermò di recente formazione un piccolo cratere vicino ad *Hyginus;* e cambiamenti forti si pensarono pure d'aver osservato Mädler e Schmidt in *Linneo,* Webb in *Messier* (cratere doppio), ecc. Ebbene, dopo tutto, sembra più probabile la sentenza che ritiene che sul nostro satellite noi non abbiamo finora constatato *con certezza* neppure un cambiamento. I fenomeni sopra citati possono difatti essere interpretati come illusioni ottiche dovute a diverse incidenze di luce che ora mettono in rilievo, ora velano alcune particolarità dei crateri; ed anche *Linneo,* che si asseriva scomparso, recenti fotografie lo hanno presentato ancora.

Per determinare la natura delle roccie che formano la superficie lunare, non possiamo certo servirci dello spettroscopio, come si fa per la costituzione chimica delle stelle; e ciò perchè la Luna è semplicemente illuminata dal Sole e quindi analizzando la luce che ci invia, si ritroverebbe lo spettro solare. Per ora il migliore metodo è di studiare l'**albedine** e cioè il rapporto esistente tra la quantità di luce che le roccie lunari ci rimandano, rispetto a quelle che esse

(1) *Inf.* XXI, 21.
(2) Si vedano le ipotesi di Schwarz e di Faye. — *Annuaire,* 1881.

ricevono dal Sole. Studi di tal genere furono recentemente eseguiti all'Osservatorio del Campidoglio a Roma ([1]) giungendo alla conclusione che l'*albedine delle roccie che compongono i così detti mari lunari è quasi identica con quella delle lave del Vesuvio e dell'Etna.* Ciò conferma sempre più l'ipotesi che i *mari lunari siano in realtà gigantesche colate di lava.*

Il P. S. Chevalier dell'Osservatorio di Zö-Sé ([2]) ha avuto l'ingegnosa idea di studiare la topografia e la orografia della superfice lunare, prendendo una serie di fotografie della Luna durante un'eclisse; quando cioè essa è investita ed abbandonata dall'ombra terrestre. In tal modo, dalle particolarità che assume il contorno dell'ombra, si possono dedurre delle conclusioni relative ai rilievi lunari. Ed infatti lo Chevalier ha potuto mostrare in tal modo che *esistono sulla Luna dei lunghi altipiani e delle larghe vallate*, il cui *livello è assai differente* dal livello medio.

Aggiungiamo ancora che dall'insieme delle misure moderne risulta come la Luna abbia lievemente la *forma di un uovo,* o più esattamente di un ellissoide con l'asse maggiore diretto verso la Terra; e si comprende facilmente che questo allungamento del globo lunare è dovuto all'attrazione terrestre. Qualche divergenza esisteva tra la forma lunare calcolata dalla teoria e quella data dalle osservazioni; ma il Prof. Armellini, Direttore dell'Osservatorio Astronomico del Campidoglio, ha mostrato come tale fatto possa spiegarsi col calcolo, ammettendo che la Luna si sia solidificata ad una distanza dalla Terra minore dell'attuale. Ciò concorda con l'ipotesi oramai comunemente ammessa che la Luna formava un giorno parte del globo terrestre, da cui si separò in epoca remotissima, assai anteriore alla formazione della crosta della Terra.

2. — **Movimenti.** — Della Luna conosciamo bene i movimenti, i quali, perchè rapidi, e fatti evidenti dalle fasi, da tutta l'antichità furono studiati e chiamati a costituire le basi dei primi calendari. Osservate la fig. 35, nella quale S è il Sole, *tt''*... la Terra nella sua orbita, L L'... *ll'*... la Luna. In *i* la Terra è come ferma e la Luna le si avvolge attorno in un'orbita *chiusa* L L' L''... Tenete a mente che:

A) — Quest'orbita è press'a poco ellittica ed è *in media* inclinata di 5° 8′ 43″, 3 con perturbazioni che la variano da 5° 0′ a 5° 18′ in 173 giorni circa, sul piano dell'eclittica, e di una quantità che varia da 18° 10′ a 28° 45′ sul piano dell'equatore. In essa si chiamano **apogeo** e **perigeo** i punti nei quali la Luna riesce rispettivamente

(1) Rend. della R. Acc. dei Lincei 1924.
(2) Rend. della R. Acc. dei Lincei 1916.

più lontana o più vicina a noi; — **nodi** i punti di intersecazione con l'eclittica, e più precisamenre **nodo ascendente** quello per il quale la Luna passa da sud a nord, **discendente** quello per il quale passa da nord a sud; — **linea dei nodi** la retta che unisce i nodi; — **linea degli absidi** la retta che unisce il perielio all'apogeo. — La linea dei nodi e quella degli absidi subiscono movimenti analoghi a quelli che già abbiamo trovati nei nodi e nel perielio dell'orbita

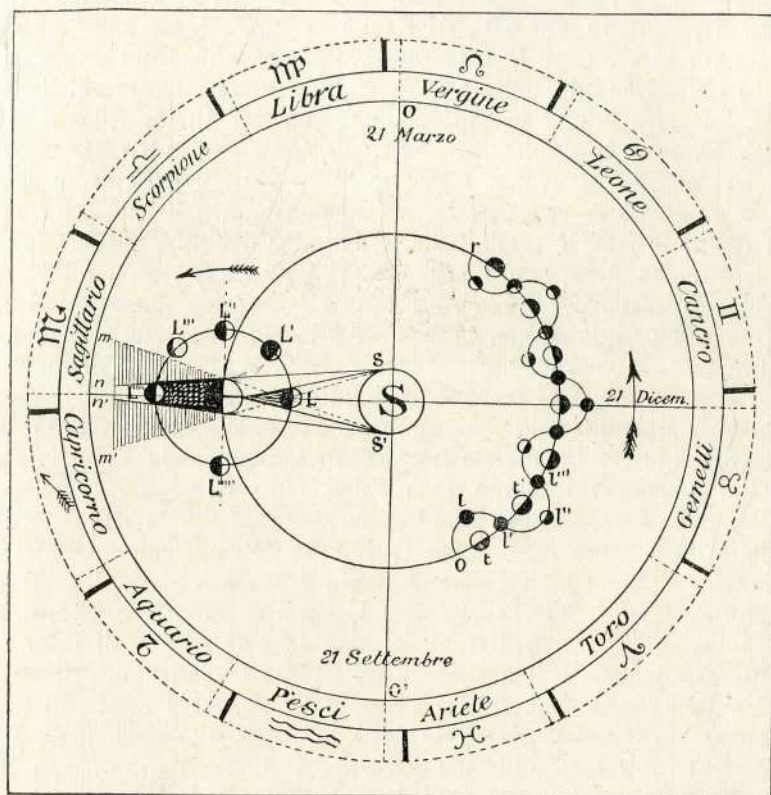



Fig. 35.

terrestre. La linea dei nodi lunari *retrograda*, ossia si muove da oriente verso occidente e compie un giro intiero in giorni 6793,39, cioè in 18 anni e $^2/_3$ circa: la linea degli absidi, più rapida, compie invece questo giro con movimento *diretto* da occidente in oriente in giorni 3232,57, ossia in quasi 9 anni.

B) — Nel percorrere la sua orbita la Luna può venirsi a trovare in L, sulla retta (prescindiamo per ora dalla leggera inclinazione

dell'orbita lunare sul piano dell'eclittica) che unisce il centro della Terra al centro del Sole — oppure in L'''' sul prolungamento di questa retta al di là della Terra — oppure nelle posizioni intermedie L'' od L''''', in modo che la retta abbassata dal suo centro al centro della Terra formi un angolo di 90° con la retta che unisce il centro della Terra con quello del Sole: nel primo caso la Luna è **in congiunzione**, nel secondo **in opposizione**, nel terzo **in quadratura**. La *congiunzione* e la *opposizione*, con voce comune, si chiamano **sizigie**, e si chiamano poi **ottanti** i quattro punti (per es. L' L''') intermedi tra le sizigie e le quadrature. Le **fasi** non sono che conseguenza del passaggio della Luna per questi diversi punti della sua orbita. La sfera lunare è sempre illuminata per metà: questa *metà illuminata*, nelle congiunzioni *non la vediamo* affatto (**Luna nuova**), nelle *quadrature* la vediamo *per metà* (**primo e ultimo quarto**), nella *opposizione* la vediamo *tutta* (**Luna piena**): di qui, come abbiam detto, le *fasi*, le quali, nella prima metà dell'orbita, come indica il proverbio comune, fanno la Luna *crescente con la gobba a ponente*, e nella seconda, *calante con la gobba a levante*. — Quando la Luna è vicina alla congiunzione, cioè nelle prime e nelle sue ultime fasi, fissatela bene e vedrete che sul fondo del cielo la potrete distinguere intera, perchè anche la parte non illuminata direttamente dal Sole vi si presenterà di un color grigio, ossia vi sarà manifestata da una **luce cinerea**. Donde questa luce? Con Leonardo da Vinci la si ritiene dovuta alla riflessione della Terra. Uno che dalla Luna contemplasse la Terra, certo la vedrebbe alquanto chiara nelle notti illuminate dalla Luna piena: perchè dunque non potremmo ammettere che anche la Luna si rischiari alquanto sotto il riflesso della Terra? S'aggiunga il fatto che la *luce cinerea* varia di colore, e che, a parità di fasi, è più viva al mattino che alla sera. Questi fenomeni danno favore all'ipotesi di Leonardo, perchè la variazione di colore può difatti collegarsi ai diversi colori delle superfici riflettenti (terre deserte o terre con vegetazione ecc.) e la intensità della luce, maggiore al mattino che non alla sera, nelle nostre regioni, può ritenersi dipendere da questo, che la luce del mattino è dovuta alle riflessioni dell'antico continente (Europa, Asia, Africa), certo più forti delle altre che avvengono sull'Altantico e danno la luce cinerea della sera.

L'orbita che la Luna descrive intorno al Sole girando nello stesso tempo intorno alla Terra, non è quale venne descritta nella figura 35 e quale sempre vien data nei trattati d'astronomia popolare per la migliore intelligenza del movimento del nostro satellite; ma, rigorosamente parlando, è molto differente, essendo essa una curva sinuosa così allungata da differire appena dall'orbita annua della Terra intorno al Sole; e al tempo dei noviluni, invece di essere convessa

dalla parte del Sole, è sempre concava, come cercammo di indicare più esattamente che fosse possibile nella fig. 36 in cui l'orbita della Luna è rappresentata dalla linea a tratti. È da notare inoltre che l'espressione « la Luna gira intorno alla Terra, » presa alla lettera, è inesatta. Nello spazio, il sistema Terra-Luna rappresenta una coppia girante intorno al suo centro di gravità; quest'ultimo dunque non può coincidere col centro della Terra. Tenendo conto della massa della Luna, 81 volte minore di quella della Terra, è facile vedere che il centro comune di gravità dei due astri non esce giammai dal nostro globo: esso trovasi sotto la superficie terrestre a una profondità vicina a 1770 chilometri. Questo punto si sposta costantemente, e noi giriamo ogni mese intorno a questo.

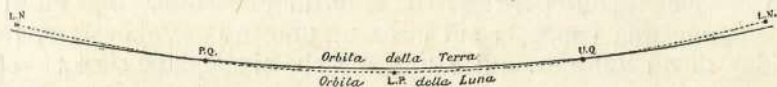



Fig. 36.

C) — Luna e Terra sono corpi opachi e dietro a sè proiettano adunque sempre nello spazio un cono d'ombra, il quale *in media* per la Terra è lungo 1376000 km., per la Luna km. 372000. Se l'orbita della Luna non fosse inclinata su quella della Terra, ad ogni *novilunio* noi avremmo il vertice del cono d'ombra *Li* che passerebbe sulla Terra, e ad ogni *plenilunio* la Luna che si troverebbe ravvolta nel cono d'ombra della Terra *nn'i*: nel primo caso si avrebbe una **eclisse di Sole,** nel secondo un'**eclisse di Luna.** Data però l'inclinazione delle orbite, il più delle volte il cono d'ombra di un astro è proiettato nello spazio, ora *sopra* ora *sotto* l'altro astro, sicchè le eclissi sono relativamente rare. In un anno, di eclissi non ne possono capitare più di 7, nè meno di 2. Se ne avvengono 7, 4 sono di Sole, 3 di Luna; se 2, sono unicamente di Sole. Tali quelle del 1926. Le eclissi di Luna non possono mai essere più di 3. — Tanto le eclissi di Luna, come quelle di Sole possono essere **totali** o **parziali,** secondochè l'astro è pienamente o solo in parte coperto. — Tra le eclissi parziali di Sole degne di nota sono in modo speciali le **anulari.** Il cono d'ombra della Luna è solo in media eguale alla distanza della Luna dalla Terra; ma venendo, o a crescere questa distanza (Luna all'apogeo), o a diminuire la lunghezza dell'ombra (Terra al perielio), l'ombra può non toccare più la Terra, ed il Sole, allora oscurato solo nella parte centrale, assume la forma di un *anello* di luce sulla volta del cielo; di qui il nome. — Le eclissi di Luna sono uno spettacolo *fuori della Terra,* e quindi possono essere contemplate da tutto l'emisfero rivolto alla Luna; quelle di Sole no, e passando *sulla Terra,* non possono essere godute che dai paesi sfiorati dal cono d'ombra, che al più sono $^1/118$ di tutta la superfice

del globo (fig. 37). Se per questo motivo le eclissi di Sole *sembrano* più rare delle altre, in compenso però sono immensamente più belle e grandiose. Di lontano si vede il cono d'ombra avanzarsi in corsa vertiginosa come una minaccia: arrivato, tacciono gli animali e fuggono spaventati, i fiori del giorno si chiudono e si chinano sullo stelo; e l'uomo anche più preparato allo spettacolo, non sa sottrarsi a un brivido di terrore. A ragione il De La Rue ha lasciato scritto che avrebbe volentieri intrapreso un lungo viaggio per assistere ad un'eclisse di Sole, non come astronomo per studiarla, ma solo come spettatore per riceverne le forti impressioni. Sono un nulla al paragone una tempesta sul mare, un uragano nell'atmosfera, un'eruzione di un vulcano: qui è un Sole che si spegne e seco travolge

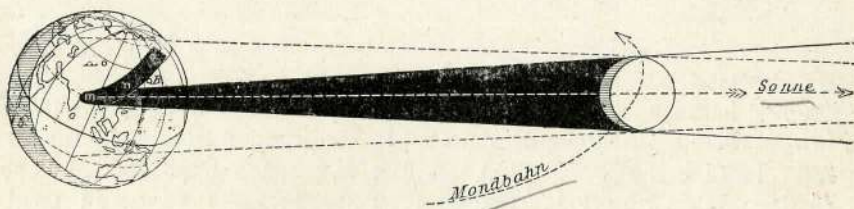



Fig. 37. — Traettoria dell'ombra lunare sulla Terra in un'eclisse solare.

nel silenzio, nelle tenebre e nel freddo di morte tutta quanta la natura. Che cosa immaginare di più grande di questo agonizzar dei mondi? — Nelle eclissi di Luna il disco del nostro satellite in qualche raro caso diventa affatto invisibile, e tale lo constatarono Kepler il 15 giugno 1620; Evelio il 25 aprile 1642; Wargentin il 18 giugno 1761; Beer e Mädler il 10 giugno 1816; nella maggior parte dei casi però si presenta d'un colore rosso rame non uniforme. Si devono — la luce che penetra nel cono d'ombra, alla rifrazione atmosferica — il color rosso al nostro vapor acqueo, — la mancanza di uniformità alle ineguaglianze della superfice lunare. Lo studio delle eclissi specialmente solari, è dei più importanti, e da esse traggono partito l'astronomo, come vedremo, per studiare gli involucri del Sole, lo storico per assicurare la esattezza delle date. Tra i catalogni delle eclissi va ricordato quello del Canonico Pingrè in appendice all'*Arte di verificare le date*. Più recente e più esatto è il *Canone* di Oppolzer (1887) che enumera 8000 eclissi di Sole e 5200 di Luna, racchiuse nel periodo dal 1207 av. Cristo al venturo 2163. — Si è discusso a lungo come potessero gli antichi predire le eclissi, e siamo riesciti a concludere che lo facevano solo empiricamente e non con calcoli esatti. In ogni periodo di 223 lunazioni (18 anni e 11 giorni)

avvengono 43 eclissi di Sole e 28 di Luna, che si ripetono col medesimo ordine sebbene non con la medesima grandezza. Questo periodo, scoperto dai Caldei, era stato in seguito portato a cognizione anche dei popoli di occidente e chiamato *Saros;* era soltanto su di esso che si basava l'aspettativa del ritorno del fenomeno, ed era quindi la predizione, solo approssimativa e non di esattezza assoluta. Applichiamo anche noi questo periodo e vedremo, ad es., che all'eclisse *anulare* del 5 maggio 1864 corrisposero la *totale* del 17 maggio 1882 e quella del 28 maggio 1900 ecc.

D) — Riportandoci di nuovo alla fig. 35, supponiamo ancora la Terra ferma in *i*, e la retta *oo'*, sulla quale è segnato il 21 *marzo*, sia l'origine delle longitudini. La Luna, compiendo una rivoluzione, passa per *tutte* le costellazioni dello zodiaco e viene a trovarsi a diverse longitudini e in posizioni diverse rispetto alle stelle. Si chiamano **rivoluzione tropica** l'intervallo di tempo tra due passaggi consecutivi alla medesima longitudine; — **rivoluzione siderea** l'intervallo di tempo tra due passaggi consecutivi alla medesima stella; — **rivoluzione anomalistica** l'intervallo di tempo tra due passaggi consecutivi al perigeo; — e **rivoluzione draconitica** l'intervallo di tempo tra due passaggi consecutivi al nodo ascendente: la prima dura $27^g\ 7^h\ 43^m\ 4^s,7$; — la seconda $27^g\ 7^h\ 43^m\ 11^s,5$; — la terza $27^g\ 13^h\ 18^m\ 33^s,1$; — la quarta $27^g\ 5^h\ 5^m\ 35^s,8$. La differenza fra la *tropica* e la *siderea* dipende dalla precessione degli equinozi. Ambedue fanno avanzare la Luna ogni giorno fra le stelle in media di 13° 10′ 35″. La rivoluzione draconitica ebbe nome da questo che gli arabi denominavano *caput* e *cauda Draconis* rispettivamente il nodo ascendente e il nodo discendente dell'orbita lunare. Di qui un metodo per determinare le ore in mare. Le effemeridi nautiche danno sempre, di 3 in 3 ore, la distanza della Luna dalle stelle principali: la Luna spostandosi di 13° 10′ 35″ al giorno, si distacca dunque più di $^1/_2$ grado in ogni ora da una stella, e potendosi misurare con sufficiente esattezza il minuto primo, evidentemente si potrà dedurre l'ora locale con la esattezza del mezzo minuto.

Noi abbiamo supposto la Terra ferma in *i;* ma lo abbiamo già detto, mentre che la Luna si muove attorno alla Terra, la Terra si muove attorno al Sole: l'orbita della Luna adunque, piuttostochè un'ellisse intorno alla Terra, è un'ellisse attorno al Sole con oscillazione al di qua e al di là della Terra, come si vede in *or* nella parte destra della fig. 35 e nella 36: da cui la conseguenza che il ritorno della Luna alle medesime condizioni rispetto alla Terra esigerà maggior tempo che non il ritorno alla medesima stella, perchè nel secondo caso non si esigerà che una rivoluzione di 360°, mentre nel

primo, dopo percorsi i 360°, alla Luna resterà ancora da raggiungere la Terra per il tratto di cui questa sarà avanzata nella sua orbita. Chiamasi **rivoluzione sinodica** o **lunazione** o **mese lunare** l'intervallo di tempo compreso tra due congiunzioni consecutive, e questa rivoluzione dura $29^g\ 12^h\ 44^m\ 2^s,8$ in media.

E) — Una particolarità importante della Luna è questa, che in lei il periodo di rivoluzione siderea ed il periodo di rotazione sopra se stessa hanno la medesima durata: la Luna impiega $27^g\ 7^h\ 43^m\ 11^s$ a fare una rotazione e quindi *volge sempre alla Terra la medesima faccia*. Se l'angolo di rotazione sopra se stessa fosse sempre perfettamente eguale a quello di rivoluzione attorno alla Terra, noi non conosceremmo della superfice della Luna che una metà; ma perchè questa corrispondenza nei due angoli non è perfetta, e perchè d'altra parte noi possiamo contemplare la Luna da diversi punti della Terra, della superfice lunare noi conosciamo alquanto più della metà, $^{59}/_{100}$ circa. La ineguale corrispondenza degli angoli di rotazione e di rivoluzione costituisce la **librazione**, che può raggiungere *in longitudine* 8° circa, e *in latitudine* 6° 50′. Per intenderla, riportiamoci alla fig. 25, a pag. 57, nella quale immaginiamo che *C* sia la Terra, *m* la Luna che passa in *n*. Se l'angolo di rotazione *vny* si mantiene sempre eguale all'angolo di traslazione *nCm*, a noi la Luna non mostrerà mai altro che l'emisfero che ha per limite il meridiano *ab*, *sv*. Non si mantiene eguale? ed ecco che il contorno oscillerà scoprendo, ora sull'uno, ora sull'altro fianco, parte dell'emisfero che dovrebbe restare nascosto.

La librazione è forse dovuta a questo, che la Luna non ha eguale in ogni senso il raggio dell'equatore, o, in altri termini, che la circonferenza dell'equatore lunare è una ellisse col diametro maggiore diretto verso la Terra. — Dell'emisfero opposto al nostro noi non sappiamo nulla. L'analogia insinua di crederlo simile a quello che sta rivolto a noi, e tale lo persuadono anche le osservazioni fatte sui lembi scoperti dalle *librazioni:* ha però l'infelicità di non vedere la Terra, e chissà che da questa sua condizione fin dal principio non ne abbiano risentito gli accidenti della sua superfice! — Un'altra conseguenza importante di questo modo di movimento è la lunghezza dei giorni e delle notti. Sulla Luna un punto che comincia a ricevere il Sole, continua a riceverlo per quasi 15 dei nostri giorni. Passa nell'ombra? vi resta per un periodo eguale.

L'asse di rotazione della Luna è inclinato di 88° 28′ 38″ sul piano dell'eclittica; e sul piano dell'orbita lunare varia da 83° 11′ a 83° 29′.

È da notarsi infine che la teoria lunare ha raggiunto ormai tutto il grado di perfezione possibile come espressione della legge new-

toniana della gravitazione. Ormai si calcolano anche le perturbazioni più piccole d'ordine sensibile; tuttavia non si giunge ad un accordo perfetto con l'osservazione, e non si tenta più di pervenirvi. Vi deve essere qualche causa di perturbazione di natura ancora ignota. Possiamo dire quello che già diceva Plinio: *Multiplici haec* (Luna) *ambage torsit ingenia contemplantium, et proximum ignorari maxime sidus indignantium* (1).

3. — **La Luna nel calendario.** — Nei calendari la Luna ha assunto un'importanza di poco inferiore a quella del Sole, e bastano a provarlo le **Neomenie** antiche. — Si chiamano: **giorno lunare** il tempo compreso tra due passaggi consecutivi della Luna al meridiano: **anno lunare** l'insieme di 12 lunazioni consecutive. Il giorno lunare è più lungo del solare di $50^m\ 28^s$, e per questo, come dice il popolo, la Luna *tarda* ogni sera di quasi un'ora. I mesi coi quali formare l'anno lunare sarebbero di giorni 29 e 12 ore circa: per evitare frazioni di giorni i mesi lunari, si fanno alternati di 29 e di 30 giorni, e 12 di essi dánno così l'anno lunare di giorni 354.

Supponete che in una data epoca comincino insieme l'anno solare e l'anno lunare. Dopo 354 giorni il lunare sarà finito ed il solare invece non finirà che quando la Luna avrà l'**età** di 11 giorni, ossia si sarà già avanzata di più di un terzo nella prima lunazione del secondo anno. Alla fine del secondo anno, la differenza diventerà di 22 giorni e sommandosi queste differenze, nel terzo anno la Luna compirà 13 lunazioni, e di più si troverà di avere ancora già 3 giorni al principio dell'anno quarto. Che se ne fa della tredicesima lunazione?

Si mette, per così dire, fuori di corso col titolo di **embolistica.** Di lunazioni embolistiche in un periodo di 19 anni se ne intercalano 6 della durata di 30 giorni ed una della durata di 29 giorni: si hanno così nel suddetto periodo 228 lunazioni ordinarie e 7 embolistiche.

Si chiama **epatta** l'età della Luna al principio dell'anno solare.

Ora notate: 235 lunazioni durano giorni 6939,68, e 19 anni solari durano giorni 6939,60: ad ogni periodo di 19 anni, Sole e Luna vengono dunque assai prossimamente a riprendere una medesima serie di posizioni relative. Questo periodo di 19 anni si chiama **ciclo lunare,** o anche - dal nome dello scopritore - di *Metone* (430 a. C.), ed i numeri nei quali si divide si chiamano **numeri d'oro,** perchè gli Ateniesi, ammirati dell'accordo che stabilivano fra Sole e Luna, li avevano fatti scolpire in oro sulle pubbliche tavole.

---

(1) *Natur. hist.* II, 9.

Riproduciamo qui il prospetto del Ciclo:

Numero d'oro	Epatta	Lunazioni trascorse	Numero d'oro	Epatta	Lunazioni trascorse
1	0	0	11	20	123
2	11	12	12	1	136
3	22	24	13	12	148
4	3	36	14	23	160
5	14	49	15	4	173
6	25	61	16	15	185
7	6	74	17	26	197
8	17	86	18	7	210
9	28	98	19	18	222
10	9	111	1	0	235

Ecco inoltre la tabella data dal Breviario Romano, indicante i numeri d'oro e le epatte, valevole, stante la riforma Gregoriana del Calendario, solo durante il periodo dal 1901 (incl.) al 2000 (incl.)

Aureo numero	Epatta	Aureo numero	Epatta
2	10	12	0 o 30
3	21	13	11
4	2	14	22
5	13	15	3
6	24	16	14
7	5	17	25
8	16	18	6
9	27	19	17
10	8	1	29
11	19		

In quegli anni, nei quali il numero d'oro è maggiore di 12, l'epatta 25 fa ritardare di 1 giorno le date dei pleniluni nei mesi di posto pari (febbraio, aprile, giugno ecc.).

Col numero d'oro di un dato anno se ne trova l'epatta; coll'epatta il giorno della Pasqua; e con la Pasqua la data di tutte le feste

mobili. Per il decreto del Concilio di Nicea, la Pasqua deve celebrarsi nella prima domenica che tien dietro alla Luna XIV, o al plenilunio ecclesiastico che avviene nell'equinozio di primavera, 21 marzo o subito dopo di esso. Se il plenilunio cade il 21 marzo e questo è sabato, la Pasqua si celebra all'indomani, 22 marzo; se il plenilunio avviene il 20 marzo, per la Pasqua bisogna aspettare il plenilunio seguente, 18 aprile; e se questo cade in domenica, la Pasqua viene differita all'altra domenica, 25 aprile. Il 22 marzo e il 25 aprile segnano dunque i limiti estremi tra i quali la Pasqua può oscillare. Ai 22 di marzo si è avuta nel 1818 e la si avrà ancora negli anni 2285, 2353, 2437, ecc.; ai 25 di aprile l'abbiamo incontrata nel 1886 e la si troverà ancora nel 1943, nel 2038, nel 2190 ecc.

Il celebre *metodo di Gauss* per trovare la data di Pasqua, è il seguente: Si pone per gli anni del calendario giuliano $m=15$, $n=6$; per gli anni del calendario gregoriano

	m	n
dal 1583 al 1699	$m=22$	$n=2$
» 1700 » 1799	23	3
» 1800 » 1899	23	4
» 1900 » 1999	24	5

Si divide la cifra dell'anno di cui si vuol determinare la Pasqua per 19, per 4 e per 7 e siano i resti rispettivamente a, b, c. Poi si divida $19\,a+m$ per 30, e sia d il resto. Si divida $2b+4c+6d+n$ per 7 e sia e il resto. Pasqua cadrà nel giorno di marzo $22+d+e$, e si può anche dire che cade nel giorno di aprile $d+e-9$. Se il giorno trovato riesce superiore al 25 aprile, si toglierà una settimana.

Es. Qual è la data di Pasqua nel 1932?

1932 : 19 dà per resto $a=13$ — $19\,a+m=271$
» : 4 » $b=0$ — 271 : 30 dà per resto $d=1$
» : 7 » $c=0$

$2\,b+4\,c+6\,d+n=11$ — 11 : 7 dà per resto $e=4$.

marzo $22+1+4=$ marzo 27, oppure aprile, $1+4-9=-4$, cioè 4 giorni prima del mese di aprile.

4. — Influenze lunari. — Dopo quanto siamo venuti esponendo possiamo domandarci: quali sarebbero le nostre impressioni se fossimo trasportati per un istante sulla Luna? Non altro che dolorose. Vi manca l'aria? Dunque, non più la respirazione che ci alimenta e ci riscalda, non la pressione che ci mantiene in equilibrio i fluidi interni; ed invece le nausee, il gelo, le vertigini, l'asfissia. Vi manca l'aria? Dunque, morta ogni parola sul labbro e spenta ogni armonia di natura; a tristi e lunghi giorni succedono lunghe e tristi le notti, con recisi contrasti di luce e di tenebre, senza crepuscoli e senza penombre; non azzurro, ma nero il cielo, con un Sole senza aureola

di raggi e incapace di far tacere le stelle. Mancano acqua ed aria? Dunque non alito di vento, non rosea l'aurora nè infocato il tramonto, non iridi, non pioggie, non tuoni e burrasche, non ruscello che mormora, non oceano che si distende ad un amplesso col lido. E vi saranno allora dei viventi lassù? Noi non ne sappiamo e forse non ne sapremo mai nulla. I confini della vita sono però certo assai più lontani di quanto si pensava solo 50 anni fa, e quindi una fantasia che rivaleggiasse con Dante, potrebbe ora bene slanciarsi a popolare di viventi anche la Luna: se lo tenta, certo però vi collocherà organismi che presenteranno differenze enormi da noi. — Del resto, lasciando le nostre vedute troppo corte, non potrebbe avere le sue bellezze anche la vita della Luna? Lassù una vita omogenea, tranquilla, sempre serena: i corpi, più leggieri che non quaggiù; e, per gli abitanti dell'emisfero rivolto a noi, lo spettacolo della Terra a superfice 14 volte più grande di quella con la quale a noi si presenta la Luna, con fasi identiche e *complementari* delle lunari e poi con le vicende sulla nostra atmosfera e con gli aspetti più vari della nostra superfice! Secondo Kepler, i Seleniti, vedendo la Terra rotare sì rapida sopra se stessa, la devono chiamare *Volva;* ed altri aggiungono che forse guardando quaggiù quei celesti, sentiranno compassione di noi accasciati e sepolti in un'atmosfera variabile, umida e pesante e forse si inteneriranno di questi prigionieri di un astro che tanto vertiginosamente si aggira nello spazio e sì rapidi sopra loro avvicenda i giorni e le notti.

Più però che dei pensieri di Seleniti ipotetici è d'uopo occuparci degli influssi reali che la Luna esercita sulla Terra. — Anzitutto la Luna ci riflette la radiazione solare. Secondo le esperienze di Skinner (1887), la intensità luminosa della Luna piena è eguale a quella di candele 10^{17}, quante cioè se ne richiederebbero per coprire di fiammelle (ciascuna per m^2 0,025 di area) tutta la superfice del nostro satellite. Paragonata con quella del Sole vuolsi che la luce della Luna piena sia 600000 volte più debole. — Assai più debole è la riflessione del calore, la cui intensità secondo le esperienze di Melloni, sarebbe soltanto uguale a un terzo della radiazione di una candela a m. 5 di distanza: più abbondanti invece le radiazioni chimiche, come dimostra la fotografia. Importantissime sono le forze che la Luna spiega sulla Terra per ragione della sua massa; e prima tra queste l'attrazione che solleva la marea e desta due volte al giorno un palpito immenso in tutti gli oceani. E non solo i mari, ma anche l'atmosfera [1] e forse con l'atmosfera anche le materie fuse che formano il nucleo del globo, risentono di questa attrazione. — Sugli

---

[1] De La Grye, *Annuaire*, 1895.

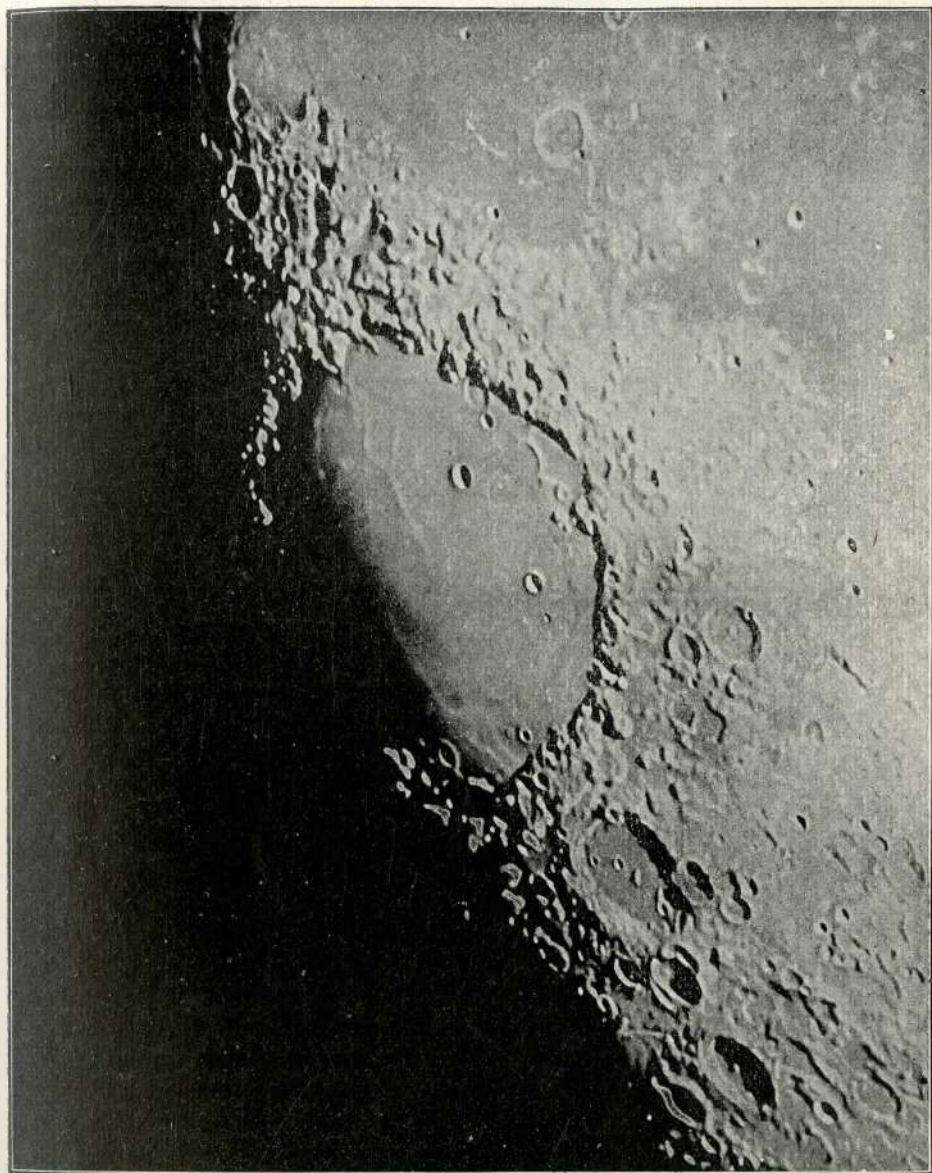



Fig. 38. — Il Mare Crisium sulla Luna.
Secondo un rilievo fotografico eseguito dall'osservatorio di Lick (California).

altri influssi che la Luna esercita, si disputa oggidì; gli antichi avevano concesso troppo: più di mezzo secolo fa, troppo si era negato; ora si sta sceverando il vero dal falso. Secondo alcuni naturalisti, sembra che l'azione della Luna sull'accrescimento della cellula sia reale ed effettiva. Molti fatti tengono a provare che certe malattie nervose anche cutanee offrono manifestazioni periodiche legate al corso della Luna. Il termine *lunatico* degli antichi non sarebbe quindi privo di senso. Forse tante di queste influenze non saranno che indirette: certo è però intanto che alla Luna noi siamo soggetti più che da molti non si creda, e che se erra il popolo che la fa dominare su tutto, anche sui cervelli, erra però anche chi tutto le nega e la confina tra i corpi quasi inerti per noi.

CAPITOLO V.

MISURE - SISTEMI - LEGGI

1. *Distanze e Volumi.* — 2. *Sistemi antichi.* — 3. *Copernico e Kepler.* — 4. *Newton.* — 5. *Peso dei mondi.* — 6. *Quadro del sistema solare.*

1. — Distanze e Volumi. — Prima di avanzarci nello studio degli altri corpi, è necessario che approfittiamo meglio degli astri che già abbiamo familiari per intendere come si sono prese le misure nei cieli, e conoscere quali sono le forze e le leggi che vi hanno dominio.

Abbiamo sempre discorso di *gradi, di minuti,* ecc.: abbiamo dunque supposto, e credo non a torto, che tutti conosciamo che la circonferenza si divide in 360°, il grado in 60′, il minuto primo in 60″, il minuto secondo in decimi, in centesimi: insomma che la circonferenza contiene 360°, pari a 21600′, pari a 1296000″. — Inoltre: dalla geometria tutti ricordiamo che due triangoli simili hanno gli angoli rispettivamente eguali e i lati omologhi proporzionali; — e dalla trigonometria tutti pure ricordiamo che, dati i tre elementi (tra i quali almeno un lato) di un triangolo, si può risolvere questo triangolo, ossia si possono determinare i valori degli altri tre. Ebbene, ci bastano queste poche nozioni per intendere come si sono misurate le distanze nei cieli.

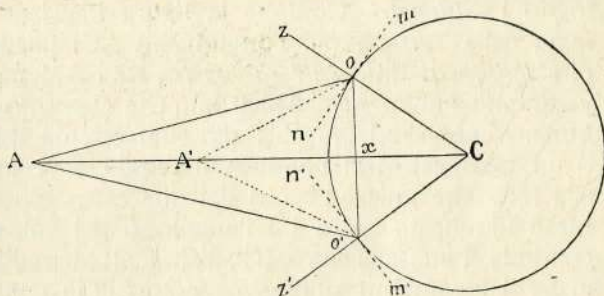



Fig. 39.

Nella fig. 39, supponete che la sfera di centro C sia la Terra e che su di essa si trovino in *o* Berlino, in *o′* il Capo di Buona Speranza: conoscendo le dimensioni della Terra e la differenza in latitudine delle due città, conosceremo subito anche il valore della corda *oxo′*,

e questa sarà la retta che ci servirà di *base* per il triangolo che ci darà la distanza della Luna. Ed ecco in che modo. Supponete che stando a Berlino, per guardare il centro della Luna quando passa al meridiano, io debba dare all'asse del canocchiale la direzione *oA*, e che, nelle stesse condizioni, al Capo debba dare la direzione *o'A;* è evidente che da queste due direzioni io potrò dedurre gli angoli *Aox, Ao'x* che gli assi dei canocchiali faranno colla corda *oo'*, e con un semplicissimo calcolo di trigonometria potrò dunque risolvere il triangolo *oAo'*, da cui dedurre infine la distanza della Luna. Non vogliamo trigonometria? Ricorriamo ai triangoli simili. Tracciate su un foglio una retta *oo'* nella scala di *un* millimetro per ogni *mille km.* della corda omonima nella Terra; dalle estremità *o* ed *o'* conducete due rette che facciano con la *oo'* due angoli *eguali* a quelli che gli assi dei canocchiali o le visuali facevano sulla Terra, a Berlino e al Capo, allorchè erano diretti alla Luna: prolungate infine queste due rette fino al loro incontro in A: ebbene? voi avete riprodotto *in piccolo* sulla carta il triangolo che le visuali dirette alla Luna fanno nei cieli con una corda della Terra: la differenza sta solo in questo, che ai *mille chilometri* nei cieli, sono sostituiti sul foglio i *millimetri.* Compite la figura tracciando le *oC, o'C* come raggi della Terra e poi congiungete AC: misurate AC e invece di dire *millimetri* dite *mille chilometri,* ed i 384 mm. di AC vi si convertiranno subito nei 384000 km. che separano difatti la Terra dalla Luna. Rappresenti ora sulla fig. 40 il cerchio C la Terra e il cerchio S un altro astro; si conduca il raggio terrestre C*o* perpendicolare alla retta che unisce i centri dei due astri: ebbene si chiama **parallasse** di questo astro (S) l'angolo (CS*o*) col quale le due visuali condotte l'una al centro (C), l'altra all'estremità (*o*) del raggio normale, si incontrano sull'astro stesso (S); in generale la parallasse di un astro è dunque l'angolo sotto il quale da questo astro è visto il raggio della Terra, ossia, è la metà del diametro apparente che la Terra ha per gli abitanti di quell'astro.

Sul disegno della fig. 40 l'angolo *o'So* non è eguale all'angolo visuale, cioè all'angolo che fanno tra loro le due tangenti condotte da S al cerchio di centro C; ma quando l'angolo è piccolo come avviene per gli astri nei quali le distanze fra i centri sono migliaia di volte più grandi dei raggi di questi medesimi corpi, si può confondere l'angolo delle tangenti con quello individuato dagli estremi del diametro terrestre.

Per analoga ragione l'osservatore della Terra, invece di lasciarlo sulla superfice dell'astro, l'abbiamo trasportato al centro del medesimo.

I diametri apparenti stanno fra loro in ragione inversa delle distanze; il valore della parallasse dunque diventa tanto più piccolo quanto più cresce la distanza.

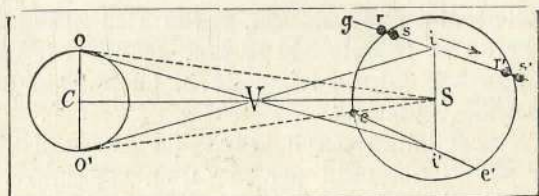
Trasportate la Luna (fig. 39) da A in A′, e essendo *A′x metà* di A*x*, l'angolo *o*A′*o′* si potrà considerare *doppio* di *o*A*o′* perchè le differenze fra A′*o*, A′*x*, A′C saranno trascurabili.

Le prime misure esatte della distanza della Luna con questo sistema furono intraprese per incarico dell'Accademia di Parigi (1751) da Lacaille, mandato al Capo di B. Speranza, e da Lalande, mandato a Berlino. In seguito furono ripetute più volte, ed ora sono divenute non più l'oggetto di spedizioni temporarie, ma il compito permanente di due dei più insigni Osservatori, di quello di Greenwich, presso Londra, e di quello del Capo, fondato espressamente nel 1820 per completare e coadiuvare il primo.

A rendere più semplice il computo delle distanze, fermiamoci ancora un momento su alcuni rapporti. — Supponete di adoperare il *raggio* come *unità* con la quale misurare la circonferenza. Un arco di un secondo, quanto varrà? Avrete $2\pi R : 1296000'' = 0{,}00000485$; dividete per questa frazione il raggio ed avrete $1/_{0,00000485} = 206264{,}80$; il che vorrà dire che il raggio di una circonferenza comprende 206264,80 volte la lunghezza dell'arco di un secondo. Fissate bene in mente questo numero, che in cifra tonda si fa di 206000, e vedete ora come si applica. Prendo un metro e lo dispongo verticalmente: a che distanza dovrò portarmi per vederlo sotto l'angolo di 1″? La risposta è già data: alla distanza di m. 206000. — A quale distanza lo vedrò sotto l'angolo di 2″, di 3″, di 4″... ecc.? Anche qui la risposta è facile. Siccome, per le distanze relativamente grandi, i diametri apparenti sono in ragione inversa delle distanze, per vedere quel metro sotto un diametro *doppio, triplo, quadruplo...* di prima, non avrò che a portarlo a distanze che sieno la *metà*, il *terzo*, il *quarto...* della primitiva. Per ottenere queste distanze dividiamo 206000 per i numeri dei rispettivi secondi, e concluderemo che quel metro si vedrà sotto l'angolo

Fig. 40.

di 2″	alla distanza di	206000/2	cioè a m.	103000
» 3″	» »	» 206000/3	»	68666
» 4″	» »	» 206000/4	»	51500.

In generale, per conoscere la distanza di un oggetto dividete il numero 206000 per il numero dei secondi che misurano il *diametro apparente* dell'oggetto medesimo: il quoziente vi dirà *quante* volte

il *diametro reale* di questo oggetto è compreso nella distanza che lo separa da voi.

Ed ora agli esempi. La parallasse media della Luna è di 57′ 2″,7 ossia dalla Luna si vede il raggio equatoriale della Terra sotto un angolo di 3440″,7 (=57′ 2″, 7). Quale la distanza della Luna? Operiamo: 206000:3340″ = 59,88; — la Luna dista dunque dalla Terra 59,88, ossia prossimamente 60 *raggi* equatoriali terrestri. — E bastano già queste cognizioni per darci anche il modo di misurare il volume della Luna! Il nostro satellite ha il diametro medio apparente di 31′ 5″, 70; la Terra, vista dalla Luna, quello di 1° 54′4″,14 (doppio della parallasse): convertiamo questi valori in secondi, e siccome, per due astri che si trovano alla medesima distanza, i diametri reali stanno come gli apparenti, avremo $D:d$ = 6844″:1865″. In questa proporzione d è il diametro equatoriale della Luna, D è il terrestre che vale km. 12756; risolvendo si avrà dunque d = km. (12756 × 1865): 6844 = km. 3473 — Il diametro equatoriale della Luna è dunque di km. 3473. Da questo avremo subito anche superfice e volume.

Accettando per il Sole la parallasse di 8″, 82, ed operando come abbiamo già fatto per la Luna, vedremo che l'astro del giorno si trova alla distanza da noi di 23280 raggi equat. terrestri, ossia di 148479840 km., e che al suo diametro medio *apparente* di 32′ 2″, 64 corrispondono nella *realtà* il diametro di 1384856 km. ed il volume di 1390632 bilioni di km. cubi, che sono rispettivamente 108,55 volte il diametro equat. e 1283744 volte il volume della nostra Terra! Noi forse non comprendiamo il valore di questi numeri. Ebbene riflettete: la luce, che si propaga con la velocità di 300000 km. circa al secondo, e in un secondo farebbe più di 7 volte il giro della Terra all'equatore, impiega $8^m 18^s$ a venire dal Sole a noi! Una palla da cannone, con la velocità di 500 metri per secondo vi impiegherebbe 9 anni 8 mesi.

La parallasse solare è uno degli elementi più importanti in astronomia, perchè il raggio terrestre fornisce la base trigonometrica delle altre misure nei cieli. Accenneremo alla fine del capitolo ad alcuni metodi con cui si è determinata; ora diciamo soltanto che il valore adottato dalla *Conferenza Internazionale per le stelle fondamentali* è 8″,80 che dà come distanza della Terra dal Sole in raggi terrestri $\frac{206264,80}{8,80}$ = = 23436,9, e prendendo come misura del raggio equatoriale chilometri 6377,4 s'ottiene che la distanza della Terra dal Sole è di km. 149466000.

Anche il volume del Sole eccede ogni nostra immaginazione. Nella fig. 15, supponete che la circonferenza di raggio SO, SO′

rappresenti la circonferenza del Sole: collocatevi nel centro S la Terra, e voi potrete, alla distanza di 384000 km., ossia *alla distanza alla quale realmente si trova la Luna da noi*, collocare questo nostro satellite sulla sua orbita TT'T", riconoscendo poi che tra quest'orbita e la superfice del Sole vi sarà ancora quasi quanto corre dalla Luna a noi.

2. — **Sistemi antichi.** — Ed ora possiamo prendere conoscenza di tutto il sistema solare per poi aprirci la strada anche a comprendere *come si son pesati i mondi.* — Dei pianeti potete con facilità rendervi familiari Mercurio, Venere, Marte, Giove e Saturno, visibili a occhio nudo e conosciuti anche dagli antichi. Tutti questi pianeti assumono diverse gradazioni di splendore e si trovano nella fascia zodiacale in piani non molto inclinati sull'eclittica: se talvolta si mostrano **stazionari** od anche **retrogradi** (cioè con movimento da oriente in occidente), prevalentemente sono però animati da movimento **diretto** (da occidente in oriente), sicchè dopo un periodo, vario dall'uno all'altro, ma costante per ciascuno, tutti, come la Terra, descrivono fra le costellazioni un'orbita chiusa. Mercurio e Venere, quando sono **in congiunzione inferiore** (cioè tra la Terra e il Sole) ed in coincidenza o quasi col piano dell'eclittica, si vedono *passare* davanti al Sole proiettandosi sul di lui disco luminoso come macchie nere: non discostandosi mai molto dal Sole, sul cielo non si possono discernere che al mattino in oriente o alla sera in occidente con una digressione **(elongazione)** massima di 18° per Mercurio, di 47° per Venere. — Ben diverse sono invece le posizioni che possono assumere gli altri pianeti: Marte, Giove, Saturno. Unite con una retta il centro della Terra col centro del Sole e prolungate questa retta indefinitamente dalle due estremità; questi pianeti si diranno: *a*) **in congiunzione** quando si troveranno su questa retta *al di là* del Sole, in modo cioè che il Sole resti tra la Terra e il pianeta; — *b*) **in opposizione** quando si troveranno su questa retta *al di qua* della Terra, in modo cioè che la Terra resti tra il Sole e il pianeta; — *c*) **in quadratura** quando la retta abbassata dal centro del pianeta che si considera, al centro della Terra, farà un angolo di 90° colla retta, già tracciata, che unisce il centro della Terra col centro del Sole.

I fenomeni finora esposti, erano conosciuti anche dagli antichi; essi però, per spiegarli - invece di muovere la Terra - intorno ad una Terra immobile, facevano muovere tutto il cielo. — Immaginate la Terra rotonda e fissa nel centro di 9 sfere di cristallo, concentriche e trasparenti; in ciascuna delle 7 sfere interne incastonate un pianeta, collocando come pianeta la Luna nella sfera o cielo inferiore, poi successivamente Mercurio nella 2ª sfera, Venere nella 3ª, il Sole

nella 4ª, Marte nella 5ª, Giove nella 6ª e Saturno nella 7ª: nell'8ª *(firmamento)* fissate tutte le stelle: fate da ultimo che la 9ª sfera *(1º mobile)* colla sua influenza *(raptus)* trascini nello spazio di 24 ore tutti i cieli inferiori in una rotazione completa da oriente in occidente, e voi avrete una prima idea del sistema, col quale gli antichi si rendevano ragione del movimento diurno. Ma notate: questa idea del sistema antico, così esposta è monca; per renderla meno incompleta dovete aggiungervi alcuni altri elementi, che qui indichiamo raggruppandoli brevemente sotto diversi punti.

1° Obbedendo alla *rapina* del *1º mobile,* tutti i cieli inferiori passavano, è vero, da oriente in occidente in 24 ore: essi però, per un movimento proprio da occidente in oriente, reagivano, e con questa reazione portavano lo spostamento dei pianeti fra le stelle. Tale movimento proprio era più veloce nei cieli superiori, più lento negli inferiori; se era in questi che *appariva* più grande, ciò dipendeva unicamente dalla piccolezza delle orbite inferiori. La Luna, ad esempio, era solo *apparentemente* più celere di Saturno: nella *realtà* era essa che al paragone doveva essere giudicata pigra e lenta.

2° Tutte le scuole convenivano nell'ammettere i cieli *sferici* e i movimenti di ciascuno *uniformi:* non convenivano però sulla ubicazione della Terra, ritenendola gli uni (Eudosso, Callippo, Aristotele — *omocentristi*) *nel centro,* gli altri (Ipparco, Tolomeo — *eccentricisti*) *fuori del centro* delle orbite planetarie. — Per tutte queste scuole poi ciascun cielo risultava di un sistema di più sfere o di più cerchi, imperniati gli uni negli altri e che dovevano dar ragione delle diverse apparenze che ogni astro presentava, sicchè la *macchina del mondo,* come allora si diceva, risultava di un totale di 27 sfere secondo Eudosso, di 56 secondo Aristotele, di 77 od anche di 79 secondo Fracastoro ecc. — Degne di studio in modo particolare sono poi alcune particolarità delle concezioni degli eccentricisti. Nella fig. 41, supponete in T la Terra, centro del circolo più interno x e del più esterno z, e nello spessore compreso tra questi due circoli conducete la circonferenza y, eccentrica rispetto a T: evidentemente se il Sole si muoverà su questa circonferenza y, ora verrà a trovarsi (in S) più lontano, ora più vicino (in A) alla Terra, e, ad archi eguali della sua orbita, corrisponderanno angoli eguali in M, non in T. Orbene, i tre cerchi $x, y, z,$ costituivano per alcune scuole tolemaiche l'unico cielo del Sole, e, come è facile pensare, erano usati a rendere ragione dei cambiamenti di *velocità* che lungo l'anno il Sole presentava. La retta che univa i punti S e A si chiamava *linea degli absidi,* e in questa poi si chiamavano rispettivamente *auge* e *antiauge* i punti di massima (S) e di minima (A) distanza dalla Terra. — Restavano le *stazionarietà* e le *retrogradazioni* dei pianeti, e per spiegarle

il sistema che incontrò più favore fu quello che sugli *eccentrici* innestò gli *epicicli*. Nella medesima fig. 41, immaginate che la circonferenza VV'' di centro M sia l'orbita di Venere: sopra di quest'orbita, e insieme sulla retta che unisce il centro della Terra col centro del Sole, fissate il centro di una piccola circonferenza (VV'V''V''') rotante nel senso della freccia e portante il pianeta: evidentemente dalla Terra T noi vedremo Venere *a*) trovarsi al mattino *davanti* o alla sera *dietro* il Sole S, secondo che sarà in V o in V''; — *b*) muoversi in senso *diretto* quando passerà da V in V'' per V', in senso *retrogrado* invece quando passerà da V'' in V per V'''; — *c*) restare *stazionaria* in prossimità dei punti V e V'' nei quali si sposterà piuttosto lungo la visuale che non lateralmente; — *d*) avvici-

Fig. 41. Fig. 42.

narsi o allontanarsi da noi, passare davanti al Sole ecc. in modo da dar ragione dei cambiamenti di splendore e dei passaggi sul Sole ecc. — Gli antichi estesero tale concezione anche agli altri erranti, e chiamarono *epiciclo* il cerchietto VV'V'' portante il pianeta, *deferente* il grande cerchio VV'' sul quale scorreva il centro dell'epiciclo.

3° Era questione sull'ordine nel quale distribuire i pianeti. I più, badando ai periodi delle rivoluzioni, ritenevano che sopra la Luna si trovassero prima Mercurio, poi Venere, poi il Sole; altri invece, tra i quali Aristotele, pensavano doversi collocare immediatamente sopra la Luna, il Sole; sopra il Sole, Venere; sopra Venere, Mercurio.

4° Non bastando neppure queste diverse disposizioni a dar ragione di tutti i fenomeni che il cielo presentava, alcuni con felice ardimento avevano poi anche tentato di fare qualche pianeta tributario del Sole: di qui il sistema noto coll'epiteto di *egiziano* (fig. 42),

che legava al Sole Venere e Mercurio; poi quello di Ticone (1546-1601) che, con Venere e Mercurio, faceva muovere intorno al Sole anche Marte, Giove e Saturno (fig. 43).

5° I cieli dagli antichi erano studiati come concezioni geometriche; *solidi, di cristallo* e *incorruttibili,* questi cieli li hanno fatti piuttosto le età posteriori; anzi furono ancora queste età posteriori quelle che al di sopra del 1° mobile collocarono l'*empireo,* o cielo quieto e di pura luce, e che sotto la Luna distinsero, discendendo, le sfere degli elementi *fuoco, aria, acqua,* e *terra,* sfere che ottennero di riflettersi tanto ampiamente nell'insegnamento del medioevo e nelle letterature anteriori al secolo XVII.

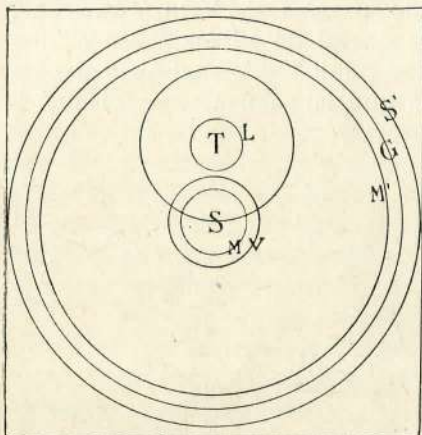



Fig. 43.

6° Dallo sfregamento dei cieli alcuni avevano anche preteso che nascesse armonia [1] di suoni; altri invece originava quest'armonia da *sirene* distribuite sulle varie sfere. Anche di questo concetto dell'armonia delle sfere sono piene tutte le nostre letterature.

3. — Copernico e Kepler. — Chi, nell'età moderna, affermò recisamente, e validamente sostenne l'idea che la Terra si movesse essa pure attorno al Sole, fu il canonico Copernico. Dottrina simile, o almeno analoga, avevano nell'antichità proposta Platone, Eraclide Pontico, Iceta ecc., che peraltro non avevano incontrato favore: simile dottrina nei secoli XV e XVI avevano richiamata il cardinal Cusano, Alberto Widmanstetter ed altri; Copernico, meglio di tutti, la raccolse, la espose sotto forma di sistema completo, tentò convalidarla di prove, e finalmente nel 1543, col suo *De revolutionibus orbium coelestium,* la fece di pubblica ragione. Ne nacquero, sulle prime, meraviglie ingenue e dispute serene; poi (1613) lotte aspre, specialmente in Italia, dove Galileo col canocchiale (1608) dava l'ultimo crollo ai

[1] Platone la faceva derivare dalla perfezione delle sfere geometriche celesti. Le scarse cognizioni che abbiamo della geometria e della musica, ci hanno condotto a trovare un legame fra le corde armoniche e i segmenti individuati dalle bisettici dei triangoli. Chissà quante altre relazioni potremmo scoprire fra la geometria e la musica, pensava il filosofo, se la nostra intelligenza fosse più perfetta. Nei cieli ove la sapienza maggiormente risplende, geometria e musica si dovrebbero fondere in un'unica manifestazione di bellezza; ecco in che senso si deve intendere l'aforisma: « il numero è armonia ».

cieli solidi: in seguito la verità si fece larga strada, ed ora, se per il Tolemaismo si ha ancora quel rispetto che si meritano sempre le dottrine che hanno già dominato le menti più elette e portano buoni frutti di osservazioni e di calcoli, si sente però da tutti che esso non è più che un cadavere.

Per comprendere il sistema portiamoci alla fig. 47. H nel centro è il Sole; attorno a lui, in un medesimo senso e quasi anche nel medesimo piano, girano Mercurio, Venere, Terra, Marte, Giove e Saturno, ai quali le scoperte moderne, come vedremo, hanno aggiunto Urano e Nettuno: attorno ai principali di questi pianeti girano i satelliti, primo dei quali la Luna, satellite della Terra. Copernico riteneva che le orbite dei pianeti fossero circolari ed animava di velocità più grande i pianeti più vicini al Sole, secondo i periodi delle loro rivoluzioni già note anche agli antichi: egli però non era riuscito a penetrare il segreto dell'armonia dei movimenti, ed anzi neppure a liberarsi dagli epicicli. Chi giunse a questo fu Kepler (1571-1631) con le sue tre leggi, che si enunziano così:

Fig. 44. — Kepler.

1ª **Le orbite dei pianeti sono ellissi aventi un fuoco comune, nel quale si trova il Sole;**

2ª **Per ciascun pianeta le aree descritte dal raggio vettore sono proporzionali ai tempi impiegati a descriverle;**

3ª **I quadrati dei tempi periodici, o delle rivoluzioni dei diversi pianeti, stanno fra loro come i cubi dei semi-grandi assi delle orbite.**

Raccogliamo intorno a queste leggi alcuni appunti.

1° La pubblicazione completa di queste leggi non si fece che nel 1618, e la loro scoperta costò a Kepler quasi vent'anni di studio, specialmente sui movimenti di Marte.

2° La prima legge determina in generale la forma e il centro dei movimenti planetari; la seconda, la variazione del movimento di ciascun pianeta nella propria orbita; la terza, il rapporto col quale la velocità varia da un pianeta all'altro.

3° La prima legge non abbisogna di spiegazione; osserviamo solo che se, secondo questa legge dobbiamo riconoscere che le orbite dei pianeti sono ellissi, esse però sono ellissi assai poco allungate: rappresentiamo difatti, ad es., con un metro il grande asse dell'orbita terrestre, e il piccolo asse in proporzione gli riuscirà inferiore soltanto di due decimillesimi di millimetro, eguale quindi a m. 0,9998.

4° Per comprendere la seconda legge premettiamo che si chiama **raggio vettore** la retta che unisce il centro del pianeta col centro

Fig. 45. — Galileo Galilei.

Fig. 46. — Copernico.

del Sole. Posto questo, riportiamoci alla fig. 17, nella quale abbiamo già supposto F il Sole, *a b c d*... l'orbita della Terra; ebbene, la seconda legge di Kepler insegna che se gli archi *ab*, *bc*, *cd*... sono percorsi in tempi eguali, le aree dei triangoli *a*F*b*, *b*F*c*, *c*F*d*... sono pure eguali. Ora passando da *a (perielio)* in *l (afelio)*, le altezze di questi triangoli aumentano continuamente, e per avere eguali le aree, sarà dunque d'uopo restringere le basi, ossia rendere man mano *più corti* gli archi; traducendola in altre parole, la seconda legge di Kepler si ridurrà dunque a significare — che un pianeta diminuisce continuamente di velocità passando dal perielio all'afelio, ed invece aumenta risalendo dall'afelio al perielio, come, rispetto alla Terra, avevamo già osservato [1].

---

[1] Cap. III, § 3, *A*).

5° Se i pianeti fossero tutti animati dalla medesima velocità, i periodi delle loro rivoluzioni starebbero come gli assi delle orbite rispettive, e poichè questi differiscono poco fra loro, potremo sostituire agli assi la parola *i raggi* e dire che i quadrati dei periodi dovrebbero essere proporzionali ai quadrati dei raggi delle orbite. Ora, i pianeti più lontani impiegano un tempo maggiore a compiere le loro rivoluzioni, non solo perchè hanno da percorrere orbite più lunghe, ma anche perchè vanno più adagio; di qui la terza legge kepleriana che fa comprendere la ragione con la quale *i tempi* crescono più rapidamente dei *raggi*, ed insegna ai quadrati di quelli corrispondere nella proporzione non i quadrati, ma i cubi di questi. Si avrà dunque la espressione $t^2 : T^2 = r^3 : R^3$ — che il lettore non trascurerà di verificare, per es., per Venere, Terra e Marte, almeno coi valori approssimativi, che sono rispettivamente 7; 10 e 17 per le distanze, e 0,6; 1; 1,88 per i tempi. Del resto la fig. 47 può dispensare dal calcolo, perchè rende evidente l'andamento della legge. Al 1° gennaio 1896 erano la Terra in T, Venere in V, Mercurio in *m'*, Marte in M', Giove in G, Saturno in S, Urano in U, e Nettuno in N; ebbene, nel periodo di un anno, ossia mentre la Terra passando per T', T'' ecc. si affretta a ritornare in T per il 1° gennaio 1897, Marte non percorre della sua orbita che l'arco M'M, Giove l'arco GG', Saturno l'arco SS', Urano l'arco UU' e Nettuno non passa che da N in N', mentre invece Venere compie una rivoluzione intera più l'arco VV', e Mercurio compie quattro rivoluzioni più l'arco *m'm!*

Tenendo ancora dinanzi la fig. 47, vediamo ora come nel sistema copernicano, meglio che nel tolemaico, si possa rendere ragione di tutti i fenomeni del cielo. Fissiamo ancora la Terra in T e consideriamo anzitutto i pianeti **inferiori** Venere e Mercurio. Per effetto di prospettiva a noi sembreranno spostarsi non sopra le ellissi, ma lungo i diametri normali al raggio vettore TH, passando ora a destra, ora a sinistra del Sole. Orbene: quando saranno sulla TH tra la Terra e il Sole, saranno *in congiunzione inferiore*, come Venere in V''', e presenteranno talvolta lo spettacolo dei *passaggi;* quando invece saranno sul prolungamento della TH al di là del Sole, saranno *in congiunzione superiore* e riusciranno invisibili, come Mercurio in *m'*. Nel portarsi dall'uno all'altro estremo di questo diametro noi li vedremo muoversi ora da destra a sinistra, ora da sinistra a destra, e nella parte superiore della loro orbita avranno dunque il movimento *diretto,* nella inferiore il *retrogrado.* — Toccando gli estremi dei diametri, come Venere in V'', noi vedremo questi pianeti alla *massima distanza angolare* dal Sole possibile per loro: sarà quella la posizione di *massima elongazione.* — Da T si tiri una retta a V''; evidentemente Venere scendendo da V'' in V', non farà quasi che scorrere

lungo questa retta, mentre rispetto ad essa si sposterà invece con rapidità *lateralmente* quando passerà da V' in V''': Venere dunque, e con Venere Mercurio, potrà presentarsi *stazionaria* ed anche animata dalle più diverse velocità. — A Copernico si era fatta l'obiezione che « se il suo sistema fosse stato vero, Venere e Mercurio avrebbero dovuto presentare le fasi, come la Luna »; e il pio cano-

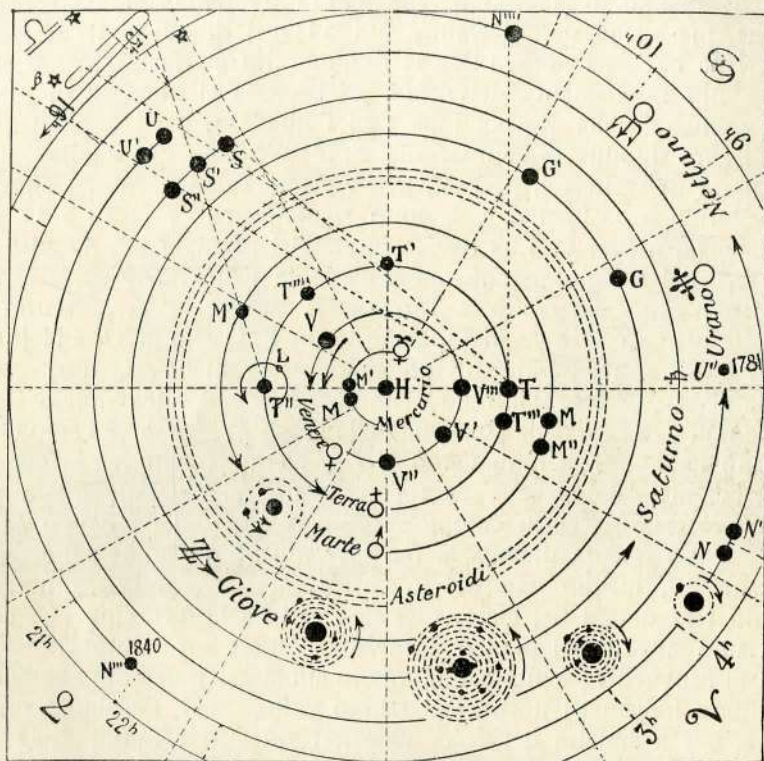



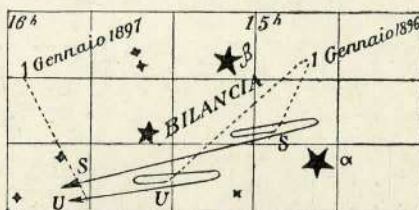
Fig. 47. — Sistema planetario moderno.

nico aveva risposto: « L'obiezione è giusta ed io non so come risolverla: spero però che Dio farà grazia d'una risposta! » Mezzo secolo dopo (1610) la risposta veniva difatti, e la dava Galileo scoprendo col canocchiale che realmente Venere presentava le fasi. Osservate queste fasi una prima volta, Galileo si assicurò la precedenza della scoperta (come ora si farebbe depositando un manoscritto suggellato presso un'Accademia) comunicandola a Kepler col verso sibillino: *Haec immatura a me iam frustra leguntur o. y.*;

tolto in seguito ogni dubbio con ulteriori osservazioni, la fece chiaramente di pubblica ragione costruendo colle 35 lettere del verso precedente l'altro verso: *Cynthiae figuras aemulatur mater amorum.* — Infine anche la variazione di splendore che i pianeti inferiori, Venere specialmente, vengono a presentare, nel sistema Copernicano trovano una piena ragione. Noto soltanto che questo splendore dipende dalla *distanza* e insieme dalla *quantità* di superfice illuminata, il massimo per Venere non si ha quando è piena, bensì alcuni giorni prima e alcuni giorni dopo la sua congiunzione inferiore.

Passiamo ai pianeti **superiori,** a quelli cioè le cui orbite sono più ampie dell'orbita della Terra. A differenza degl'*inferiori,* essi potranno trovarsi in *quadratura* (tale Nettuno in N'''' rispetto alla Terra in T); come Venere e Mercurio poi potranno anch'essi trovarsi in *congiunzione superiore:* ma non mai in *congiunzione inferiore,* e in generale non presenteranno neppur fasi sensibili; solo Marte, in prossimità delle quadrature, può dar fasi di un certo valore.

Fig. 48.

Anche le retrogradazioni e le stazionarietà di questi pianeti diventano facili nel nuovo sistema. La fig. 48 dà i movimenti di Urano (U) e Saturno (S) quali si osservarono dalla Terra dal 1° gennaio 1896 al 1° gennaio 1897, diretti ora in un senso, ora in un senso opposto e interrotti da stazionarietà. Vogliamo renderci ragione di questi movimenti? Torniamo alla fig. 47, pag. 110, dove nell'angolo superiore, a sinistra, è riprodotta la traiettoria apparente di Saturno, tra le ore 15 e le 16, sulla costellazione della Bilancia. Notate: intanto che la Terra compie un giro, Saturno si trasporta da S in S'': or bene, al 1° gennaio 1896 si vedeva Saturno sulla visuale TS: al 1° aprile si vedeva invece sulla T'β; al 1° luglio sulla T''S'; e finalmente al 1° gennaio 1897 sulla TS''. Le retrogradazioni anche per i pianeti superiori non sono dunque che apparenti ed effetti di prospettiva, e si riproducono quasi identiche in ogni anno. — Prima di abbandonare questi astri fate un'altra osservazione. Evidentemente tra l'aprile e il luglio e poi ancora nel novembre, i due pianeti Urano e Saturno si mostreranno per noi assai vicini sul cielo: li diremo allora *in congiunzione.* Ricordiamo di passaggio che, interpretando meno bene una pagina di Kepler, si ascrive a questo insigne astronome l'opinione che fa della stella dei Magi non altro che la congiunzione di Marte, Giove e Saturno avvenuta nei Pesci, nel 747 di Roma.

4. **Newton.** — Le leggi di Kepler esprimono un fatto, ma non ne rivelano la causa: rivelarla fu il compito di Newton (1642-1727). — Premettiamo alcune nozioni. 1° Fino a Galileo (1564-1642) si era creduto che la velocità della caduta, nei gravi, fosse in ragione diretta della loro densità. Galileo per il primo dimostrò che la gravità, ossia la forza di attrazione che la Terra esercita sui corpi sublunari, è eguale per tutti questi corpi e che quindi tutti nella loro caduta libera devono discendere con la medesima velocità. — 2° Richiamiamo il principio della *indipendenza dei movimenti*, che si traduce nel *parallelogrammo* (vedi fig. 16) già ricordato a proposito della aberrazione della luce, e per il quale si dimostra che *un corpo soggetto contemporaneamente a più forze, dopo un determinato tempo si trova appunto là dove si sarebbe trovato se, per la durata di quel medesimo tempo, le forze avessero agito sopra di lui successivamente e indipendentemente le une dalle altre.* Nell'argomento che trattiamo, questo principio è capitale. Per intenderlo bene, applichiamolo ad un caso concreto e supponiamo quindi che nella sopraccitata fig. 16, T′ sia una palla sollecitata contemporaneamente dalle due forze concorrenti T′T e T′S: il corpo si muoverà lungo la diagonale T′S, e dopo un dato tempo si troverà in S (¹). Ora si domanda: come è nata la diagonale T′S? Risolvete il tempo totale del movimento in una serie di tempuscoli e supponete per un momento che il mobile T′ obbedisca per tempuscoli *alternati*, ora all'una ed ora all'altra delle forze date: arriverà in S seguendo una spezzata, *che noi confonderemo con una retta* (la diagonale) *se avremo fatto i tempuscoli infinitamente piccoli.*

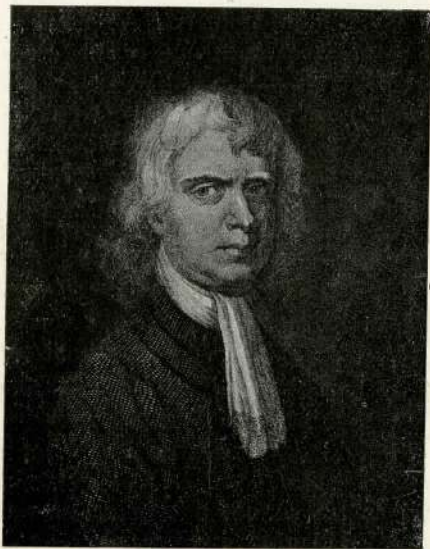



Fig. 49. — Newton.

(¹) Veramente il moto risultante è *rettilineo* (e può essere perciò rappresentato nella direzione della *diagonale*) solo quando le due forze cospiranti sono entrambe od *istantanee* o *continue costanti*, e danno luogo a due movimenti rettilinei della stessa natura, *uniformi* nel primo caso, *uniformemente accelerati* nel secondo. In caso contrario, il moto è sempre *curvilineo*. Si può ritenere rettilineo per un tempuscolo brevissimo.

Volete un concetto meno esatto, ma più chiaro del fenomeno? Osservate che il corpo T′ sarebbe giunto egualmente in S se avesse obbedito *prima* alla *sola* forza T′S′ che l'avrebbe portato in S′, *poi* alla *sola* T′T che da S′ l'avrebbe trasportato in S. Il pensiero adunque di Galileo è questo: che un corpo, sollecitato contemporaneamente da più forze, obbedisce a ciascuna di esse, quasi fosse assolutamente indipendente dalle altre. — 3° Applichiamo il principio di Galileo ad un corpo lanciato orizzontalmente, e per questo osserviamo la figura 50 (1). Uscendo, ad esempio, da un fucile la palla *a* arriverebbe in *o* in un secondo, mentre attratta dalla Terra, discenderebbe da *a* in *e:* alla fine di questo minuto secondo adunque la palla dove sarà? evidentemente in *i*. In *i* si ripete la medesima composizione di movimenti: la palla sarà portata in *v*, e proseguendo, si vedrà che la traiettoria della palla nello spazio si ridurrà infine ad una curva. Se non intervenissero attriti a svigorirla (atmosfera) e fosse animata da una velocità conveniente, la palla continuerebbe a circolare indefinitamente attorno alla Terra: invece, negli esempi che quotidianamente abbiamo sott'occhio, la palla si abbassa rapidamente ed urta nel suolo, perchè, in confronto della forza di proiezione, troppo debole e poi dispersa, ottiene sopra di lei rapidamente il sopravvento, la gravità. Se la Terra non opponesse resistenza e la palla la potesse penetrare come penetra l'aria, noi la vedremmo, questa palla, descrivere una spirale in un piano unico con curve sempre più ristrette e finalmente condursi ad arrestarsi nel centro. — Le superfici di due sfere stanno tra loro come i quadrati dei raggi, e la energia raggiante dal centro diminuirà dunque sulla unità di area in proporzione dei quadrati dei raggi. Supponete di accendere una candela e di collocarla nel centro di una sfera che abbia la superfice di un metro quadrato ed ammettete che sopra ogni centimetro quadrato di questa superfice arrivino ad es. 100 raggi. Trasportate ora quella candela nel centro di una sfera di raggio *doppio* della prima e quindi di superfice *quadrupla:* quanti raggi toccheranno qui a ciascun centimetro quadrato? Riflettete

Fig. 50.

(1) Nella fig. 50 gli spazi *ao, iu, vm* sono uguali, perchè il moto prodotto dall'esplosione della polvere è uniforme; gli spazi *ae, in, vk,* non sono uguali ma sono proporzionali alla serie dei numeri primi 1: 3: 5, perchè il moto prodotto dalla gravità (forza continua costante) è uniformemente accelerato.

che è la *stessa* quantità di luce che ora si distribuisce sopra una superfice *quadrupla:* a ciascun centimetro quadrato non toccherà dunque più che *un quarto* della luce di prima, ossia soli 25 raggi.

Vuole la leggenda che Isacco Newton, di 23 anni, una sera nel suo giardino siasi vista cadere una mela ai piedi. Alzando gli occhi osservò la Luna, domandandosi tosto: *Ma e la Luna perchè non cade?* - Se leggenda la leggenda della mela, fatto e storia però questo - che Newton, entrato in casa, si pose a meditare, a discutere e a calcolare, finchè giunto a numeri approssimativi assai buoni, non però ancora quale egli li desiderava e voleva, chiuse ed abbandonò il lavoro. Era il 1666. Dei risultati della misurazione d'un arco di meridiano fatta dall'abate Picard [1], la Società Reale di Londra nelle adunanze 11 gennaio e 1° febbraio 1672 ascoltava le prime notizie, che poi, nel 1675, erano più largamente esposte nelle pubblicazioni della Società e a Newton segnalate anche con una lettera del segretario della Società, Roberto Hooke, nel 1679. Coi nuovi elementi riprese i suoi calcoli il Newton, e questo si narra che vedendo egli i risultati andarsi accostando a quanto la mente aveva divinato, commosso, si abbandonò al pianto. Confidata a qualche amico la grande scoperta, la esponeva poi nell'opera immortale *Philosophiae naturalis principia mathematica* che usciva al pubblico nel 1687 e stabiliva che « *la forza, che incatena tutti gli astri, è l'attrazione, la quale agisce in ragione diretta delle masse e in ragione inversa del quadrato delle distanze* ».

Che cosa sia l'attrazione in sè, Newton non l'ha detto e niun altro l'ha detto neppure dopo di lui. Forse arriveremo un dì a conoscere con quale velocità, con qual mezzo (etere?), con quale sistema di azioni (vibrazioni? pressioni?...) essa si propaga: che cosa però sia questa forza nella sua essenza, forse non lo sapremo mai. Quando abbiamo detto che è l'amore della materia, amore che tende ad unire in un amplesso ogni cosa, dall'atomo ai Soli, noi abbiam detto tutto: forse è una proprietà generale della materia, come l'estensione, come l'impenetrabilità! Il problema delle cause e delle essenze da ogni lato ci stringe e ci opprime, ed è della gravitazione quanto è della luce, del calore, dell'elettricità, delle affinità chimiche, delle orientazioni molecolari nei cristalli ecc. Noi misuriamo, trasformiamo, sfruttiamo queste forze, ma esse ci servono velate, mascherate, senza mai consentire alle nostre pupille di fissarle in volto neppure un momento. — Questo è però intanto un grande merito di Newton, di aver cancellato per sempre le molteplici forze con le quali gli antichi si erano accinti a spiegare il movimento dei cieli,

---

[1] Cap. II, § 4.

e di aver coordinato tanti fenomeni, che sembravano i più disparati, sotto una forza unica, ed incatenata la Luna alla Terra, la Terra al Sole con quella medesima energia che fa cadere una mela. — Vediamone ora il processo.

La gravità ha in media il valore di m. 9,80, ossia, agendo per 1^s sopra di un corpo che cade liberamente, gli fa acquistare la *velocità* di m 9,80. Questa forza la possiamo considerare come radiante dal centro della Terra, e secondo quello che abbiamo detto or ora alla distanza di *due, tre, quattro.....* raggi terrestri non avrà più che $^1/_4$, $^1/_9$, $^1/_{16}$..... della intensità che ha alla superfice. Che intensità avrà alla distanza della Luna? La Luna è lontana 60 raggi terrestri; la gravità là non sarà dunque più che m. $9{,}80 : 60^2 =$ m. 0,0027 — ossia un corpo che là fosse abbandonato, in virtù dell'attrazione della Terra, nel primo minuto secondo di sua caduta libera, acquisterebbe la velocità di *due millimetri e sette decimillimetri per secondo.* Ma si noti: lo *spazio* che il corpo percorre nel primo minuto secondo di sua caduta, è *la metà della velocità finale* che acquista, e alla superfice della Terra, mentre è $g=$m. 9,80, lo spazio percorso per acquistare tale velocità è soltanto di m. 4,90. Portato dunque alla distanza della Luna, un corpo nel primo secondo *quanto* cadrà? Metà di m. 0,0027, ossia *un millimetro e tre decimi di millimetro.* Ebbene, *di tanto cade appunto la Luna!* Vediamolo.

L'arco di un grado, secondo Picard, era di m. 111212 e da esso si deduceva di circa 40 mila chilometri la periferia della Terra: — moltiplichiamo questo valore per 60 (distanza della Terra dalla Luna) e noi avremo la lunghezza dell'orbita lunare di chilometri 2400000. — Dividiamo questa lunghezza per 2361600, che è prossimamente il numero dei minuti secondi contenuti in una rivoluzione siderale della Luna (27 g., 7 h., 43^m 11^s), ed otterremo lo *spazio* che la Luna percorre in ogni secondo: — questo spazio è di m. 1016,7 cioè poco più di un km., e su tale orbita un tratto di un km. importa appunto l'abbassamento di *un* mm. e $^3/_{10}$ rispetto alla tangente! Riportiamoci ancora alla fig. 50, e supponiamo la Luna in *a;* secondo Newton essa avrebbe ricevuto dalla mano di Dio un nuovo impulso — *proiezione* — che la porterebbe in *o* sulla *ao (forza tangenziale)* mentre che la Terra la farebbe cadere da *a* in *e;* il risultato finale della combinazione delle due forze ci farà quindi successivamente trovare la Luna in *i,* in *v,* ecc., incatenata qual satellite della Terra.

Ma non dovrebbe la gravità acquistare un dominio sempre maggiore, e abbassando sempre più la Luna, condurla finalmente a urtare contro la Terra? No, risponde Newton, perchè a questa caduta, provocata dalla forza centripeta, si oppone la resistenza della reazione

centrifuga. Conoscerete la fionda e saprete che in essa la forza, con la quale il sasso tende a sfuggire, è proporzionale, oltrechè alla sua massa, al quadrato della velocità che lo anima, e, a parità di velocità, in ragione inversa del raggio della circonferenza che descrive: $F=kV^2:R$, ove k è una costante che dipende dalla massa e dall'unità di misura. Orbene, qual è la reazione centrifuga, di cui la Luna si anima correndo la sua orbita? Applicate la formola facendo $k=1$; V=1032256 (quadrato di 1016, che è la velocità della Luna) ed R=384000000 (distanza in metri della Terra dalla Luna) e per quoziente ossia il valore di F otterrete appunto 0,0027, che è il valore di g (gravità) alla distanza della Luna. Forza centripeta e reazione centrifuga si fanno equilibrio e non vi è dunque a temere che la Luna sia per abbandonare il suo posto.

A completare l'esposizione della teoria della gravitazione ci restano ancora alcuni punti da fare, e li proponiamo raggruppati secondo il solito sotto i diversi capi.

A — L'attrazione della Terra sulla Luna non è che un caso particolare di una legge generale: è naturale difatti il pensare che solo in ossequio di questa legge anche gli altri satelliti si muovono intorno ai loro pianeti, i pianeti intorno al Sole ecc. Quanto nei cieli si agita, dal pulviscolo alle moli immense sotto le quali anche la mente si accascia, tutto obbedisce all'attrazione. Le stesse leggi di Kepler che pure a Newton sono state scala alla gravitazione, non sono che corollari e conseguenze di questa. Infatti la terza legge subito fa sentire la diminuzione della forza col crescere delle distanze e con l'impicciolirsi delle masse; la seconda, basata sui raggi vettori che uniscono il centro del Sole col centro del pianeta, subito permette di intuire che dunque la forza che affascina il pianeta è forza che irradia dal centro del Sole; ed anche la prima legge è nella teoria di Newton che trova la sua ragione. Per quest'ultimo punto ritorniamo un istante alla fig. 17, dove abbiamo supposto F il Sole, *ab*, *bc*, *cd*, ecc. gli archi percorsi dal pianeta in tempi eguali. Man mano che il pianeta si avvicina all'afelio, gli archi si fanno sempre più brevi, ossia la velocità del pianeta diminuisce; diminuisce di conseguenza anche la forza centrifuga e prende il sopravvento l'attrazione dell'astro centrale, sicchè il pianeta, invece di allontanarsi per es. sulla *ls*, precipita da *l* in *d'*, in *a*, con velocità sempre crescenti, come farebbe un sasso che cadesse liberamente sotto l'azione della gravità. Finirà sul Sole? No; lo libera la stessa velocità acquistata durante la caduta. Giunto difatti in *a*, il pianeta ha una velocità massima, e questa, ridestando grande in lui la reazione centrifuga, gli impedisce di rimanere vicino al Sole sulla *ac'* ed invece sulla *abc* lo respinge ancora fino in *l*. In sostanza potete formarvi l'idea del

movimento d'un pianeta con l'esame del movimento di un pendolo. Lasciato libero, il pendolo discende con velocità sempre crescente (come il pianeta che corre dall'afelio al perielio): toccato il punto più basso, non si ferma, ma per l'energia acquistata e con velocità decrescenti (come il pianeta che torna dal perielio all'afelio), risale dall'altra parte ad un'altezza eguale a quella dalla quale era caduto. Il pendolo finisce coll'arrestarsi perchè soffre attriti: gli astri pare che di attriti non ne incontrino e quindi continuano il loro corso: se incontrassero ostacoli, restringerebbero a poco a poco le loro orbite e finirebbero col cadere sul Sole. Ho detto *pare*, perchè sulla costituzione degli spazî interplanetari nulla finora si è potuto determinare con certezza (Hirn ed altri), e d'altra parte sulla costanza della durata delle nostre rivoluzioni dominano opinioni contraddittorie (Young ecc.). Solo per la Luna *sembra* accertata l'accelerazione secolare già accennata nel suo moto medio, sul valore della quale gli astronomi non sono ancor d'accordo. Questa però dipendendo dalle variazioni dell'eccentricità dell'eclittica e non dalla resistenza del mezzo, sarà, come fu detto, periodica, e quindi entro un determinato tempo ricondurrà il nostro satellite alla velocità di prima (Laplace, Tisserand).

B — Se l'attrazione è di *tutta la materia*, non solo avremo quella della Terra sulla Luna, del Sole sulla Terra, ma alla loro volta anche la Luna attirerà la Terra, la Terra il Sole, e tutti i satelliti, tutti i pianeti, tutti i Soli spiegheranno influenze gli uni sugli altri. E questo avviene difatti. Il Sole ad es. non è fermo nel suo centro, ma, se è lecito dirlo, va barcollandovi intorno di qua, di là a seconda delle attrazioni dei pianeti; ed anche i pianeti poi non descrivono propriamente delle ellissi, ma solo delle curve che ad esse cercano di avvicinarsi. Ad es. (v. fig. 47) la Terra in T‴ solleverà una gobba sulla sua orbita normale, perchè risentirà delle attrazioni di Marte, ed anche di Giove, poco lontano; così farà anche Saturno da S in S′, attratto da Urano, mentre invece Urano in UU′ si abbasserà piuttosto verso di lui. La prima legge di Kepler è dunque soltanto una legge *limite*, ed i pianeti la seguirebbero perfettamente solo quando non risentissero di altre influenze all'infuori di quella del Sole.

Queste azioni per le quali i pianeti agiscono gli uni sugli altri deviandosi sul loro corso, prendono il nome di **perturbazioni**, e nella storia dell'astronomia è memorabile il fatto della scoperta di Nettuno, compiuta, prima con la matita che col canocchiale, appunto colla discussione delle perturbazioni che Urano pativa. Tale scoperta compivano, l'uno all'insaputa dell'altro, Adams in Inghilterra, Le Verrier in Francia. Le Verrier notificava il risultato de' suoi calcoli

all'Accademia di Parigi il 31 agosto 1846 e con lettera del 18 settembre invitava il Galle di Berlino a ricercare l'astro divinato: la sera del 23 Galle dirigeva il canocchiale nei cieli, e a 327° 24′ di longitudine, vale a dire a meno di un grado dal punto indicato (326° 32′) da Le Verrier, incontrava Nettuno! — Consultiamo ancora la fig. 47 e vediamo di renderci ragione della scoperta di Le Verrier. Supponete Nettuno fisso in N‴, dove lo trovava Galle nel 1846: per le di lui attrazioni Urano, discendendo da U′, andrà accelerando; ed invece, allontanandosi dopo l'opposizione per salire in U″ andrà rallentando con ritardi decrescenti. Orbene, scoperto Urano nel 1781, lo si era visto presentare delle ineguaglianze, accelerare cioè sempre più fino al 1822, patire invece ritardi man mano più deboli dal '22 in poi. Le Verrier discusse le perturbazioni che sopra Urano avevano dovuto portare Saturno e Giove; trovatele insufficenti, non dubitò d'affermare che causa del fenomeno doveva essere un altro pianeta, ancora ignoto e più lontano, con il quale Urano aveva dovuto trovarsi in opposizione nel 1822. Quel pianeta, non occorre più dirlo, era Nettuno.

C — Per conoscere e ricordare con facilità le distanze dei pianeti dal Sole giova assai la **legge** detta **di Titius** (che la scopriva nel 1767) o **di Bode** (che la pubblicava nel 1772). — Scrivete i numeri:

0, 3, e poi, raddoppiando: 6, 12, 24, 48, 96, 192, 384; aggiungete 4 a ciascun numero, avrete:

4, 7, 10, 16, 28, 52, 100, 196, 388, che sono numeri *prossimamente* proporzionali alle distanze dei pianeti dal Sole. Più esattamente, se con 10 rappresentiamo la distanza della Terra dal Sole, le varie distanze riescono:

Mercurio	Venere	Terra	Marte	x?	Giove	Saturno	Urano	Nettuno
3,9	7,2	10	15,2	28	52,0	95,4	191,8	300,5

Confrontando questa serie con la precedente si trova che in generale, fatta eccezione per Venere, i numeri di Titius sono un po' più alti dei numeri reali, e che, se la divergenza è trascurabile nei primi casi, non lo è più nell'ultimo, dove i due valori sono 300 e 388. L'errore di Le Verrier nel calcolare *a priori* la massa di Nettuno, provenne appunto da questo, che, seguendo la regola di Titius, il grande astronomo francese aveva creduto di collocare Nettuno a 388, e, per avere una data attrazione, gli aveva attribuito una massa eguale ad 1/9300 della solare: trovatosi invece il pianeta soltanto a 300, per ottenere in Urano le medesime perturbazioni bastò concedergli appena quella di 1/19700. — Prima di abbandonare la regola di Titius, notate che al 5° posto essa esige un pianeta. Convinto

che questo pianeta deve esistere, Bode univa in lega 24 astronomi per scoprirlo, senza però ottenere quanto desiderava; fu solo il 1° gennaio 1801 che il Padre Piazzi, dell'Osservatorio di Palermo, scoprendo *Cerere*, cominciava a far tacere nei cieli quella apparente irregolarità. Dico *cominciava*, perchè in quella regione, che si credeva un deserto, scoprivano in seguito un 2° pianetino Olbers *(Pallade)* nel 1802, un 3° Harding *(Giunone)* nel 1804, un 4° ancora

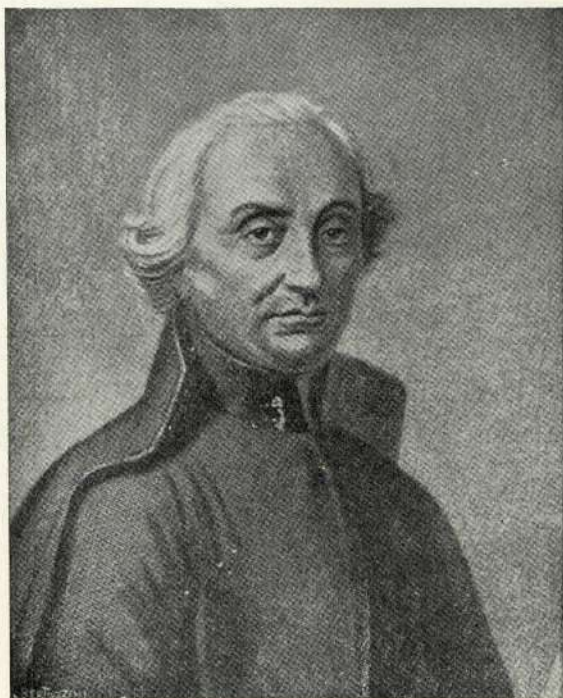



Fig. 51. — Giuseppe Piazzi (1746-1826).
(Dal Calendario del R. O. di Capodimonte (Napoli) per il 1927).

Olbers *(Vesta)* nel 1807, ed altri 423 se ne scoprivano poi dal 1845 al dicembre 1895. Alla fine del 1905 il numero dei pianeti ascendeva a ben 601, e attualmente se ne conosce un migliaio. Dove Titius esigeva un pianeta vi è dunque la famiglia numerosissima dei **pianetini**, detti anche **Asteroidi**.

Per formarvi più esatta l'idea della distribuzione dei corpi nel sistema solare, segnate una retta di 25 metri ed avrete la scala di 1 mm. per ogni 200000 km. Ad una estremità di questa retta supponete che si trovi il Sole: collocherete in seguito Mercurio a m. 0,28 — Venere a m. 0,58 — Terra a m. 0,76 — Marte

NOMI	Diametri reali — Diam. della Terra = 1	Volumi — Volume della Terra = 1	Massa — Massa della Terra = 1	Densità — Acqua = 1	Gravità all'equat. — Gravità all'equat. della Terra = 1	Distanze medie dal Sole — Distanza Terra Sole = 1
Mercurio	0,37	0,050	0,056	6,2	0,41	0,3871
Venere	0,966	0,90	0,817	5,0	0,88	0,7233
Terra	1,000	1,000	1,000	5,52	1,000	1,0000 (1)
Marte	0,54	0,157	0,108	3,8	0,37	1,5237
Asteroidi	—	—	—	—	—	—
Giove	11,14	1295	318,36	1,36	2,53	5,2026
Saturno	9,4	745	95,22	0,7	1,06	9,5547
Urano	4,0	63	14,58	1,3	0,92	19,2181
Nettuno	4,3	78	17,26	1,2	0,95	30,1096
Sole	109,05	1301200	333,432	1,41	27,9	—
Luna	0,272	0,020	$\frac{1}{81,45}$	3,33	0,166	come la Terra

(1) Ammettendo per la parallasse il valore di 8″, 80, la distanza media della Terra dal Sole è km. 149501000.

Distanze in ore, minuti primi e secondi di luce	Rivoluzioni siderali in anni, giorni ed ore	Rotazioni in giorni ed ore	Velocità medie in km. per secondo	Inclinazione media sull'eclittica	Energia che ricevono dal Sole — En. ric. dalla Terra=1	Satelliti	Rivoluzione sinodica media (in giorni medi)
$3^m\ 11^s$	giorni 89,97	g. 89,97 (?)	47,31	7° 0′ 11″	7	—	116
$5^m\ 57^s$	» 224,7	» 224,7 (?)	34,89	3° 23′ 37″	2	—	584
$8^m\ 18^s$	» 365, h. 5	h. 23, $56^m\ 4^s$	29,45	0° 0′ 0″	1	1	—
$12^m\ 32^s$	anni 1, g. 321,7	h. 24, $37^m\ 23^s$	23,88	1° 51′ 1″	1 : 2,25	2	780
—	—	—	—	—	—	—	—
$42^m\ 46^s$	a. 11, g. 314,8	{ h. 9, 50^m { h. 9, 56^m	12,89	1° 18′ 31″	1 : 27,04	9	399
h. 1, $18^m\ 20^s$	a. 29, g. 167	h. 10, 14^m	9,53	2° 29′ 33″	1 : 90,25	10	378
h. 2, $37^m\ 40^s$	a. 84, g. 7	(?)	6,71	0° 46′ 21″	1 : 364,81	4	370
h. 4, $6^m\ 30^s$	a. 164, g. 280	(?)	5,37	1° 46′ 45″	1 : 900	1	367
—	—	{ g. 25 { » 27	—	—	—	—	—
come la Terra	g. 27, h. 7	g. 27, 7 h., 43^m 11^s	1,00	5° 8′ 43″	come la Terra	—	29 ½

a m. 1,16 — Giove a m. 3,92 — Saturno a m. 7,29 — Urano a m. 14,60 — Nettuno a m. 24,96 — e, aggiungo fin d'ora, — la stella più vicina l'avrete a 60 km. dal vostro Sole!

La *legge di Bode,* semplice e sufficientemente esatta, ha l'unico difetto di essere errata per Nettuno; sono stati quindi studiate altre leggi, che comprendessero anche questo pianeta. *Gaussin* ha proposto per la distanza del pianeta N dal Sole, la formola

$$d = \frac{1}{214,45} \cdot 1,7226^n$$

con otto posti vacanti; essa migliora la rappresentazione di Nettuno, ma peggiora quella di Urano. Il Prof. *Armellini* ha dato la formola:

$$d = 1,03^n$$

dove si ha $n = -2$ per Mercurio; $n = -1$ per Venere; $n = 0$ per la Terra; $n = 1$ per Marte; $n = 2,3$ per i limiti della zona asteroidica; $n = 4$ per Giove; $n = 5$ per Saturno; $n = 7$ per Urano ed $n = 8$ per Nettuno. Si ha così il seguente specchietto:

Pianeta	Distanza calcolata	Distanza reale
Mercurio	0,427	0,387
Venere	0,654	0,723
Terra	1,00	1,00
Marte	1,53	1,52
Giove	5,48	5,20
Saturno	8,38	9,55
Urano	19,46	19,22
Nettuno	29,76	30,11

Il Dott. M. Pierucci [1], ha trovato una doppia regolarità nel sistema solare. Egli cominciò col considerare a parte le distanze dal Sole dei pianeti *interni* (Mercurio, Venere, Terra, Marte) e quelle dei pianeti *esterni* (Giove, Saturno, Urano, Nettuno), pensando che, verosimilmente, la formazione dei due gruppi è avvenuta in condizioni diverse. Oltre quanto sarà detto al N° 2 del § seguente, il Pierucci ha osservato che *le distanze medie dei pianeti interni (o esterni) dal Sole crescono approssimativamente come la serie dei numeri interi.* Vi sono due lacune; l'error medio è inferiore al 5 %. Successivamente, poi, estese la portata della regola e ne migliorò l'accordo coi dati astronomici, considerando il **raggio equivalente,** cioè il raggio del cerchio equivalente alla ellisse descritta dal corpo celeste in una sua rivoluzione. In tal modo la regola si applica ai pianeti,

(1) *Nuovo Cimento,* serie VI, Vol. XXIV, 1922.

ai due satelliti di Marte, ai satelliti interni ed a quelli esterni di Giove e di Saturno, ai satelliti di Urano e perfino a varie comete periodiche; in tutto ad un complesso di 36 corpi celesti appartenenti al nostro sistema solare; la media generale degli errori medi non arriva al 3,50°/₀.

Tale regola può anche enunciarsi così: « *le aree che descrivono in una loro rivoluzione i pianeti - o i satelliti - o alcune comete - crescono come i quadrati dei numeri interi* »; enunciato, questo, più significativo, perchè le aree sono grandezze geometricamente ben definite, mentre i raggi equivalenti non sono che valori medi.

Esaminando poi la regola del Prof. Armellini, il Pierucci è giunto, con una conveniente trasformazione, a trovare una regolarità che lega tra loro i *periodi di rivoluzione dei pianeti,* quelli *dei vari satelliti di un pianeta, e quelli di alcune comete,* cioè: « *i periodi di rivoluzione stanno tra loro in rapporti semplicissimi; anzi nella maggior parte dei casi, ciascun corpo celeste ha periodo doppio del suo precedente e metà del suo successivo* ».

Si hanno, cioè, due relazioni semplici, delle quali una lega tra loro le *aree,* l'altra i *tempi* di *rivoluzione,* le quali relazioni, indicando con A_n e con T_n rispettivamente l'area e il periodo del corpo ennesimo, possono esprimersi analiticamente (pur di scegliere in modo conveniente le unità di misura) così:

$$1)\ A_n = n^2; \qquad 2)\ T_n = 2^n.$$

L'interpretazione meccanica di tali relazioni si presenta, per ora, tutt'altro che facile: potendola ottenere, essa ci darebbe, però, qualche lume notevole sulla formazione del nostro sistema solare.

5. — **Peso dei mondi.** — Vediamo ora come si sono pesati gli astri, e prima di tutti la Terra.

A — Il filo a piombo segna la verticale ed il suo prolungamento passa press'a poco per il centro della Terra; è l'attrazione della Terra che lo obbliga a questo. Supponete ora di collocare di fianco al piombino una massa, la cui attrazione non sia trascurabile in confronto di quella della Terra: che avverrà? Il filo (ricordate il parallelogrammo delle forze) devierà, e tanto più, quanto più sarà grande la massa laterale, sicchè dalla quantità della deviazione voi potrete dedurre il rapporto delle masse, e conosciuta la massa laterale, avere anche il valore della massa della Terra. Come masse laterali possono servire le montagne, di alcune delle quali con sufficente approssimazione si possono determinare il volume e la densità media e quindi la massa. A piè di queste montagne Bouguer e La Condamine (1749) hanno visto difatti deviare il filo. Applicando tale

sistema di indagine, per **densità media della Terra** ottennero i valori di 4,7 (acqua=1) Hutton e Maskelyne nel 1774-76 con il monte Shehallien (Scozia) — di 5,3 James nel 1856 con il m. Arthur Seat, presso Edimburgo — e di 5,77 Mendenhall nel 1880 con il m. Fusiyama (Giappone).

B — Variando la distanza di un pendolo dal centro della Terra, varia anche il numero delle sue oscillazioni, ed abbiamo già veduto [1] che basta la differenza di altezza di 120 m. per produrre sopra un pendolo a secondi la differenza d'una oscillazione in 24 ore. Ripetiamo l'esperimento facendo oscillare il pendolo prima ai piedi, poi sulla cima di una montagna; il pendolo nel secondo caso tarderà, ma *meno* di quanto l'altezza importerebbe, perchè la massa della montagna qui coadiuva la gravità, e dal confronto delle attrazioni esercitate dalla Terra e dalla montagna potremo dunque dedurre il rapporto della massa terrestre a quella della montagna, e conosciuta questa, determinare quella. Carlini compì di tali misure sul Cenisio nel settembre nel 1821 ed ottenne per densità media della Terra il valore di 4,39, corretto dopo da Schmidt in 4,84, da Giulio in 4,95.

C — Degno di nota speciale il metodo di Jolly. Immaginate una bilancia sensibilissima, provvista di due bacini a ciascuna estremità del giogo, distanti verticalmente di 21 m. tra di loro: ebbene, due vasi di vetro, pieni di mercurio (5 kg.) sopra di essa hanno accusato peso diverso secondo che erano collocati nei piatti superiori o negli inferiori. Jolly ripetè l'esperimento collocando sotto una delle estremità del giogo una massa di piombo di 5775 kg. e vide che la differenza di peso nella massa di mercurio collocata prima nel piatto superiore, poi nell'inferiore si faceva più accentuata: confrontò i valori delle due attrazioni, ed essendo nota la massa (il piombo) che produceva l'una, ebbe subito il modo di dedurre l'altra, ossia quella della Terra, alla quale attribuì la densità media di 5,69. Col medesimo metodo Poynting ottenne il medesimo risultato. — Nel 1893 il Berget alla massa di piombo sostituì le 320000 tonnellate dell'acqua di un lago del Lussemburgo belga, che poteva rapidamente vuotarsi e riempirsi; alla bilancia sostituì il **gravimetro** di Mascart formato da un tubo ad U, chiuso ad una estremità e nel quale alla forza elastica di una piccola massa di idrogeno si faceva equilibrio con una data quantità di mercurio, ed ottenne per densità media della Terra il valore di 5,4.

D — Il metodo, dirò così, classico e meno soggetto ad errori, in questo ordine di ricerche è quello immaginato da Michell ed applicato per la prima volta nel 1798 da Cavendish. — Sieno *m* ed *n*

---

[1] Cap. II, § 6.

(fig. 52) due piccole sfere fissate all'estremità d'un'asta lunga, leggera, sorretta da un filo metallico di piccolissimo diametro e non torto, in modo da formare complessivamente uno di quei pendoli di torsione dei quali ci occorse di parlare al Cap. III, § 1, sebbene allora ci servissero ad uno scopo ben differente ed avessero proporzioni relativamente enormi, e sieno inoltre M e N due sfere pesanti portate da una sbarra di ferro assai robusta e mobile attorno al centro C. Se queste sfere pesanti si trovano alla loro massima ed eguale distanza (come sono appunto in M, N) dalle sferette *m*, *n*, queste restano immobili, perchè attratte egualmente dall'una e dall'altra parte; ma se le sfere pesanti si trovano in M′ N′ o in M″ N″, le sferette ne risentono attrazioni disuguali e subito quindi si spostano per accostarsi alle masse avvicinate. Ma avvertite: per inerzia le due sferette oltrepassano il punto nel quale l'attrazione delle sfere grandi farebbe equilibrio perfettamente alla forza di detorsione del filo, e si ha quindi un eccesso di torsione che subito le riporta indietro; di qui dunque nelle sferette *m* ed *n*, sotto l'attrazione delle masse M ed N, un sistema di oscillazioni analogo a quello di un pendolo che si muove per l'attrazione della Terra. Mettete a confronto i due sistemi di oscillazioni (delle oscillazioni cioè del pendolo per la gravità, e delle sferette per l'azione delle masse avvicinate), e stabilendo il rapporto tra oscillazioni e oscillazioni, tra masse e masse, voi dedurrete il valore della massa della Terra. Sieno difatti G l'attrazione della Terra, *g* l'attrazione delle due sfere maggiori, N il numero delle oscillazioni che un pendolo della lunghezza C*n* dà in un dato tempo, *n* il numero delle oscillazioni dato nel medesimo tempo dalle sferette *m* ed *n*, *x* la massa della Terra ed R il suo raggio, *m* la massa delle due sfere maggiori M e N, e finalmente *r* la distanza del centro di una di queste sfere dal centro della rispettiva sferetta fermata a quel posto in cui la forza elastica del filo farebbe equilibrio alla loro attrazione: per il principio della gravitazione si avrà:

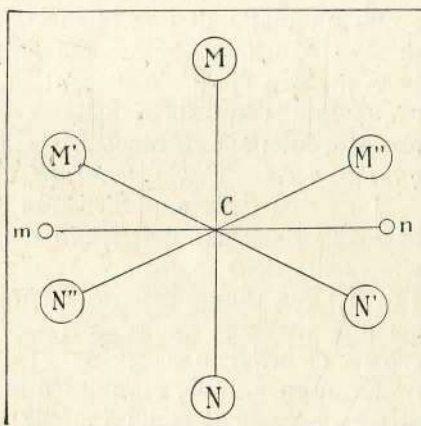



Fig. 52.

$$\mathrm{N} : n = \mathrm{G} : g = \frac{x}{\mathrm{R}^2} : \frac{m}{r^2} \text{ donde } x = \frac{m \times \mathrm{R}^2 \times \mathrm{N}}{n \times r^2}.$$

Nelle sue esperienze Cavendish usò le sferette del peso di gr. 729, con le sfere grandi di kg. 158 ciascuna, ed ottenne per la densità della Terra il valore medio di 5,48 [1]. Le principali determinazioni della densità della Terra sono pertanto le seguenti: (1775) Maskelyne 4,71; (1798) Cavendish 5,48; (1837) Reich 5,49; (1843) Baily 5,66; (1850) Reich 5,58; (1878) Cornu e Baille 5,56; (1878) Poynting 5,493; (1880) Jolly 5,692 con incertezza di ± 0,068; (1885) Wilsing 5,58 ± 0,01; (1894) Boys 5,5270 ± 0,002; (1896) Richarz 5,505 ± 0,009; (1898) il Padre Braun 5,52725 ± 0,0012. La discussione di tutti questi numeri dà, come risultato sufficentemente accertato, il valore di 5,50 rispetto all'acqua, ossia, supponendo di collocare la Terra sopra un piatto di una bilancia, per farle equilibrio nell'altro piatto, di sfere eguali in volume, ma piene di acqua distillata, se ne dovrebbero mettere cinque e mezzo! Degno di nota il fatto che Newton aveva intuita questa densità: « *Verisimile est* - scriveva egli difatti alla propos. 10 dei *Principii* - *quod copia materiae totius Terrae quasi quintuplo vel sextuplo major sit quam si tota ex aqua constaret* ».

Le rocce della superfice non hanno che densità assai piccole, oscillanti da 2 a 3, e tenendo conto dell'acqua degli oceani, la densità media della parte accessibile della crosta terrestre si riduce a 1,6; è forza dunque pensare che al disotto della crosta terrestre vi sia una sostanza molto densa. Si ammette oggi che al disotto della crosta si trovi una specie di magma fluido per una profondità non troppo grande, e subito dopo si trovi un nucleo dotato di densità e di elasticità simili a quelle dell'acciaio. L'elasticità si è potuta misurare deducendola dalla velocità con cui le onde sismiche si trasmettono attraverso l'interno del nostro globo. Cade con questo solo quanto gli antichi avevano creduto sulle voragini interne; e l'idea di chi facendo cava la Terra, vi collocava piante ed animali con due astri luminosi speciali, denominati Proserpina e Plutone, si mostra una volta di più non altro che il frutto di fantasie sbrigliate, come frutto di fantasie si mostra anche il *geode* cavo smaltato di cristalli.

Conosciuta la massa della Terra, fu facile avere quella del Sole mettendo a riscontro l'attrazione che la Terra esercita sulla Luna, con quella che il Sole esercita sulla Terra. — Le orbite planetarie si possono considerare come circoli, come orbite quindi nelle quali la forza centripeta e la reazione centrifuga si fanno equilibrio ed ambedue sono $K\ V^2 : R$, come già abbiamo veduto. Si chiamino ora V, R, m, f, rispettivamente la velocità, il raggio dell'orbita, la massa e la forza d'attrazione della Terra, e v, r la velocità ed il raggio

(1) V. Daguin, *Tr. de physique*, § 161, ediz. 1878.

dell'orbita della Luna, e poi F ed x la forza d'attrazione e la massa del Sole: avremo la proporzione

$$F:f=\frac{V^2}{R}:\frac{v^2}{r}=\frac{x}{R^2}:\frac{m}{r^2}$$

$$\text{donde } x=\frac{r\times m\times R^2\times V^2}{R\times r^2\times v^2}=\frac{m\times R\times V^2}{r\times v^2}$$

dalla quale si otterrà per il Sole la massa enorme di 324439 Terre! Si divida ora questa massa pel volume, che già abbiamo imparato a conoscere, ed il Sole ci risulterà di una densità assai debole, di solo 1,39 in confronto dell'acqua e di 0,25 in confronto della Terra.

Secondo le determinazioni di Newcomb, la massa del Sole è uguale 333432 volte quella della Terra. Ne segue che la densità media è 1,4 quella dell'acqua, e 0,256 quella della Terra. Inoltre Noteboom, dallo studio del movimento di Eros dal 1893 al 1914 (fatto nei vari Osservatorii) ha ricavato per la massa del sistema Terra + Luna il valore $\frac{1}{328370}$ (Sole=1) [1].

Con gli elementi esposti potete ora comprendere anche il processo seguito nelle altre misure che si sono fatte nei cieli. — Le distanze dei pianeti, per es., si possono avere esattissime anche senza triangolazioni. Notate difatti quanto tempo un pianeta impiega a compiere una rivoluzione, ossia a ritornare ad una medesima stella, e con la 3ª legge di Kepler, confrontandolo con il periodo rivolutivo e con la distanza della Terra, ne dedurrete la sua distanza dal Sole. — Con il reticolo o con l'eliometro si misurarono in seguito anche i diametri apparenti dei pianeti, e conoscendone le distanze, dai diametri apparenti si dedussero i diametri reali e i volumi. Per averne le masse si calcolarono le perturbazioni prodotte sugli altri corpi del sistema solare, oppure, se avevano satelliti, si mise a profitto e si discusse (come si è fatto della Terra rispetto alla Luna) l'attrazione che spiegavano su questi; ed infine dal rapporto delle masse coi volumi si dedussero per ciascun pianeta i valori della densità ed anche della gravità. Supponete che si domandi, ad es., l'intensità della gravità sul Sole: ecco come si risolverà il problema. La gravità è in ragione diretta delle masse: sul Sole, badando alla sola massa, dovrà dunque essere 324439 volte più grande che non sulla Terra. E questo sarebbe difatti se Sole e Terra avessero il medesimo volume; ma siccome la gravità sta anche

---

[1] *Astron. Nachr.* N. 5122, 1921 e *Nature*, p. 256, ott. 20, 1921.

in ragione inversa del quadrato delle distanze, ed il raggio del Sole è 108,5 volte il raggio della Terra, quel primo numero dovrà dunque andar diviso per il quadrato di 108,5, sicchè per il valore finale di g all'equatore solare non si otterrà infine che 27,6. Un corpo sul Sole nel primo minuto secondo di caduta libera vi percorre m. 13,80! Il pendolo di uno dei nostri grandi orologi, portato sul Sole, vi oscillerebbe con una rapidità da 5 a 6 volte più grande di quella con la quale si muove quaggiù, ed i proiettili lanciati dai nostri cannoni, là cadrebbero ben presto al suolo!

6. — **Quadro del sistema solare.** — Nelle tavole a pagg. 120-121 sono raccolti in un quadro i principali elementi del sistema solare. Mettiamoci davanti contemporaneamente questo quadro e la fig. 47, e facciamo alcune osservazioni. — 1° La zona degli Asteroidi sembra dividere i pianeti in due classi, quattro *interni:* Mercurio, Venere, Terra e Marte (da non confondersi coi pianeti detti *inferiori,* che sono soltanto Venere e Mercurio) e quattro *esterni:* Giove, Saturno, Urano e Nettuno (da non confondersi coi pianeti detti *superiori,* che sono Marte, gli Asteroidi, Giove, Saturno, Urano e Nettuno). — 2° I pianeti *esterni* hanno debole la densità, grande invece la massa, il volume, il numero dei satelliti, e, per quanto si sa, grande pure la velocità di rotazione: gli *interni* al contrario hanno forte la densità, debole invece la massa, il volume, il numero dei satelliti e anche la velocità di rotazione. — 3° L'energia che il Sole diffonde diminuisce in proporzione del quadrato del raggio: Mercurio dunque riceve 7 volte di più, Nettuno invece 900 volte meno di luce e di calore della Terra; ed il Sole, mentre visto da Mercurio ha un diametro apparente medio di 1° 23′, visto da Nettuno non ha più che quello di 1′ 4″! — 4° Il Sole ha un volume che è 603 volte, e una massa che è quasi 750 volte rispettivamente il volume e la massa di tutti i pianeti presi insieme! Se li domina, ha ragione da vendere! — 5° È importante anche un richiamo sullo schiacciamento polare dei diversi pianeti. Venere e Mercurio quasi non ne presentano, e si considerano di solito come sferici: Marte ne ha 1/200, Giove 1/10, Saturno 1/10, di Urano e Nettuno i valori sono ancora ignoti.

Non si può non osservar subito il rapporto che deve passare tra questo schiacciamento ed il numero dei satelliti ed il periodo di rotazione del pianeta. — 6° Alcuni satelliti ed i pianeti senza satelliti hanno il periodo di rotazione identico a quello di rivoluzione. Questo movimento, che è dimostrato per la Luna e pare anche per il 4° di Giove e per l'8° (Giapeto) di Saturno, nei satelliti lo si è già creduto generale o almeno predominante: osservazioni recenti, benchè non appieno sicure, tendono però ora a ridurre di molto il

valore di questa asserzione. — 7° Prima di abbandonare il quadro generale dei pianeti potete formarvi anche un concetto di alcuni sistemi usati per determinare la parallasse solare.

Questa si determina con metodi ottici, meccanici, geometrici; ne esporremo due.

Nel 1671 Domenico Cassini proponeva di non affrontare direttamente il problema della parallasse solare, ma determinare prima la parallasse di un pianeta durante la sua massima vicinanza alla Terra (durante la sua opposizione).

A quell'epoca già si sapeva esprimere con le leggi di Kepler la distanza dei pianeti dal Sole prendendo per unità la distanza Terra-Sole, e siccome le parallassi sono inversamente proporzionali alle distanze, dopo determinata la parallasse di un pianeta, la ricerca della parallasse solare si sarebbe ridotta alla risoluzione di un problema della regola del tre semplice. Il pianeta scelto fu Marte e tra le osservazioni fatte su questo pianeta, meritano di essere ricordate quelle del 1755. Si osservava questo pianeta che doveva ad un certo istante occultare una stella passandole dinanzi: così l'astronomo svedese Wargentin vide Marte alcuni secondi al Sud, mentre Lacaille all'Osservatorio del Capo lo vide alcuni secondi al Nord della stella.

Fig. 53.
La cosidetta **goccia nera**, nei passaggi di Venere e di Mercurio.

Che voleva dir ciò? Il pianeta passando relativamente vicino alla Terra veniva proiettato da due Osservatori su due punti differenti della sfera celeste: se si chiama L il punto in cui lo proiettava Lacaille e W quello in cui lo proiettava Wargentin, l'arco L W misurato in secondi dava l'ampiezza dell'angolo delle visuali dei due astronomi incrociantesi sul pianeta ossia l'angolo L Marte W e l'angolo Lacaille Marte Wargentin che è l'angolo sotto cui da Marte si vedevano gli Osservatori dei due astronomi.

Da questo Delisle dedusse l'angolo sotto cui da Marte si sarebbe veduto il raggio terrestre e quindi la parallasse solare. Intanto in due importanti comunicazioni alla Società Reale di Londra negli anni 1691 e 1716, l'astronomo Halley proponeva di osservare le traiettorie del pianeta Venere e Mercurio durante i loro passaggi sul disco solare.

Supponete (fig. 40), che due Osservatori posti in O ed O′ agli estremi opposti di un diametro della Terra, osservino Venere che passa davanti al Sole: la vedranno percorrere l'uno la corda *ee′*, l'altro la *rr′*, la cui distanza *ii′* determinerà il valore dell'angolo iVi′=OVO′: il rapporto della lunghezza delle due corde OO′, *ii′* e dei tempi periodici della Terra e di Venere forniranno in seguito

gli altri elementi coi quali ottenere la distanza CS. — Per determinare le corde si osservano i contatti di Venere con il Sole, che sono (come è evidente dal disegno) in numero di 4 per ogni corda, perchè dati dagli incontri del margine interno e del margine esterno del pianeta all'ingresso ed all'emergenza. Una difficoltà rende però incerte le osservazioni, ed è quella della così detta **goccia nera**, per la quale Venere, quando sta per toccare il disco solare, non si mantiene perfettamente rotonda, ed invece si allunga in un'appendice oscura, come è segnata tra *r* ed *s* della figura 40, o, meglio, come appare dalla fig. 53. A questo ostacolo i grandi canocchiali nelle ultime osservazioni ne hanno aggiunto un secondo, presentando Venere cinta da un'aureola che rende difficile di determinare il momento preciso dei contatti col Sole.

Questo metodo si chiama *metodo dei passaggi*, mentre l'altro suggerito da Cassini, si chiama *metodo delle opposizioni*. Per altro risultati migliori si ottengono osservando le opposizioni del pianetino Eros. Già il Leverrier diceva apertamente di aver poca fiducia nei metodi che si usavano al suo tempo, e al Signor De Fonvielle asseriva: « Ecco il mezzo più sicuro, per trovare la parallasse del Sole, approfittare dell'opposizione dei pianetini; la loro piccolezza li rende preziosi, potendo essere coperti dal reticolo: quando poi un astronomo riuscisse a scoprire un planetoide fra la Terra e Marte, questi sarebbe il benefattore dell'Astronomia, e il suo nome dovrebbe essere scritto a lettere d'oro in tutti gli Osservatori del mondo ».

L'astronomo Loewy, direttore dell'Osservatorio di Parigi, l'anno 1900 si presentava spontaneamente come esecutore testamentario della volontà scientifica di Leverrier, suo predecessore, facendo sì che nella conferenza internazionale tenutasi a Parigi nel mese di luglio dell'anno suddetto per sua iniziativa, si decidesse di metter mano senz'altro ai lavori. Ben 47 specole astronomiche di primo ordine, situate nei due emisferi terrestri, si associarono a questo lavoro per l'esecuzione del quale il Loewy in parecchie circolari, stabilì i modi di fare le osservazioni fino ai più minuti dettagli, tutti di somma importanza, trattandosi di fare delle misure con esattezza e precisione superiore a quella delle misure precedenti. Il lavoro principale da eseguirsi in preparazione allo scopo finale da ottenersi, era di fissar bene la traiettoria del planetoide in mezzo alle stelle: a questo fine fu stabilito da principio di misurare la posizione di tutte le stelle fino alla dodicesima grandezza comprese nella zona di 10′ da una parte e dall'altra della traiettoria.

Si pensò inoltre a profittare della fotografia, e fu deciso che in tutte le lastre fotografiche del pianeta, si prendesse la misura di tutte le stelle contenute in un quadrato di 21′ intorno al medesimo.

I lavori di Hinks sui risultati delle osservazioni eseguite con questo programma sul pianetino Eros danno alla parallasse il valore di 8",806 con un'incertezza di 0",004 in più od in meno che equivale a più o meno 67600 chilometri sulla distanza Terra-Sole.

Qualcuno dirà che ciò è troppo, e che si aspettava una più grande precisione dalle moderne misure astronomiche. Rispondiamo a questa difficoltà colla bella osservazione che fa a questo proposito l'astronomo Moreux, direttore dell'Osservatorio di Bourges; che nel misurare la detta distanza, gli astronomi ottengono un risultato più preciso di quello che noi abbiamo misurando col metro una finestra larga $1^m,66$. Infatti un errore di 85000 km. sopra 149466000 dà la proporzione seguente:

$$\frac{85000}{149466000} = \frac{1}{1758}.$$

Colui che volesse ottenere la lunghezza della finestra con un errore inferiore ad un millimetro sarebbe un po' troppo esigente: eppure nelle misure geodetiche ed astronomiche, si richiede qualche cosa di meglio. E ciò giustamente; giacchè nell'esempio addotto, si misura direttamente una lunghezza lineare, mentre nel caso nostro si determina l'altezza di un triangolo dall'angolo misurato al vertice: gli astronomi ridurranno ancora di più questo errore.

Chiudiamo il capitolo sulle leggi che governano il roteare dei mondi con uno sguardo all'atomo che si può considerare come un sistema solare in miniatura.

Gli studi modernissimi, specialmente per opera del *Bohr* e del *Sommerfeld* hanno messo in luce le strette relazioni che esistono tra l'*immensamente grande* e l'*immensamente piccolo:* tra il *sistema planetario* da una parte e l'*atomo* dall'altra.

A somiglianza del sistema planetario, anche l'atomo è composto di una massa centrale preponderante, che tiene il luogo del Sole, intorno alla quale ruotano dei corpuscoli che rappresentano i pianeti e che si chiamano elettroni. La parte centrale in cui, come dicevamo, risiede quasi tutta la massa dell'atomo, è elettrizzata positivamente; mentre gli elettroni sono elettrizzati negativamente. Le orbite degli elettroni sono presso a poco circolari e regolate dalle stesse leggi kepleriane valide per i pianeti. Non solo, ma le distanze degli elettroni obbediscono ad una legge analoga a quella di Bode, vale a dire procedono secondo i quadrati dei numeri interi. I singoli elettroni, essendo elettrizzati dello stesso segno, si respingono tra loro; e subiscono quindi nel loro moto orbitale delle perturbazioni analoghe a quelle dei pianeti, tanto che il Sommerfeld preconizzava la futura « *Meccanica Celeste dell'Atomo* ».

CAPITOLO VI.

Il Sole

1. *Lo spettroscopio.* — 2. *Aspetto che presenta il Sole e strati che lo costituiscono.* — 3. *Valori numerici e prove dell'esistenza degli strati esterni.* — 4. *Rotazione del Sole e movimento delle macchie sulla sua superfice.* — 5. *Costituzione del Sole.* — 6. *Meccanismo dell'atmosfera solare.* — 7. *La scoperta del 1872.* — 8. *Le conquiste dello spettroeliografo.* — 9. *Radiazione solare.* — 10. *Temperatura del Sole.* — 11. *Come il Sole ripari alle sue perdite.*

1. — Lo spettroscopio. — Premettiamo un cenno brevissimo sull'**analisi spettroscopica,** che nella seconda metà del secolo scorso è stata la più potente ausiliare ad estendere le nostre conquiste nei cieli.

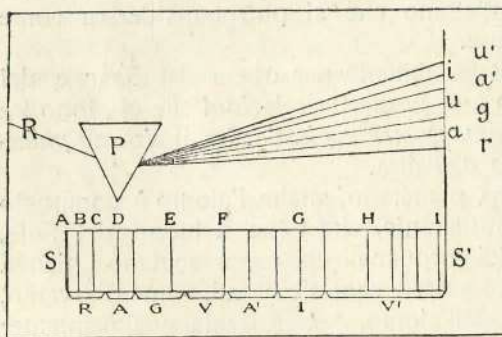



Fig. 54.

Introducete (fig. 54) in una camera oscura un raggio R di Sole e dirigetelo sopra di un prisma P di vetro o di cristallo: emergendo dall'altra parte, il raggio devierà, e in pari tempo si risolverà in un nastro di colori (rosso, aranciato, giallo, verde, azzurro, indaco, violetto), noto comunemente col nome di **spettro solare.**

Disponiamo di seguito al primo, altri prismi cogli spigoli rifrangenti alternati: avremo così il **prisma di Amici** (1862) che ingrandisce lo spettro solare o come suol dirsi **aumenta la dispersione.**

Si possono ottenere degli ottimi spettri solari anche senza il prisma ricorrendo a delle lastre piane finamente rigate, che si chiamano **reticoli.** — Il nastro di radiazioni non è però *continuo;* qua e là è interrotto da linee trasversali oscure, che occupano posizioni

costanti e portano il nome di **righe di Fraunhofer** (1814) o righe spettrali, le principali delle quali sono contrassegnate con le prime lettere A, B, C... ecc., e si possono vedere rappresentate nella figura. Che cosa sono queste righe? La risposta non la possono dare che le esperienze. Or bene:

a) Se noi dirigiamo sul prisma il raggio di un corpo solido o liquido incandescente (quello, per es., di un filo di platino arroventato da una corrente elettrica), otteniamo uno spettro continuo, senza righe oscure.

b) Se il corpo incandescente che dà il raggio, è un aeriforme, lo spettro che ne nasce, si presenta formato soltanto da alcune righe brillanti, le quali, tra dati limiti di temperatura e di pressione, variano da un corpo all'altro, ma per ciascun corpo sono caratteristiche e costanti.

c) Se un raggio che darebbe uno spettro continuo, prima di arrivare al prisma, attraversa una massa di vapori, emergendo, presenta uno spettro con le righe oscure, e queste righe (lo si noti bene) occupano nello spettro le stesse posizioni che sarebbero state occupate dalle righe brillanti del vapore interposto, se questo fosse stato usato come sorgente luminosa. — Questa sostituzione delle righe oscure alle righe brillanti si chiama **inversione dello spettro**.

d) La luce *riflessa* da un corpo opaco è più debole della luce *diretta*, ma ne conserva integri i caratteri spettrali; però, se il corpo riflettente ha un involucro gassoso od anche luce propria, allora lo spettro riflesso può presentare nuove righe oscure di assorbimento e nuove radiazioni.

e) I diversi colori dello spettro dipendono dalla diversa lunghezza d'onda, come dalle diverse lunghezze delle onde dipendono le varie note della scala musicale. Le lunghezze delle onde dello spettro si esprimono in *micron*, o millesimi di millimetro, e un tempo si credeva terminassero all'estremità del violetto con $\lambda = 0{,}42\mu$ e all'estremità del rosso con $\lambda = 0{,}67\mu$. Poi si poterono misurare delle lunghezze d'onda dalla parte che oltrepassa il violetto fino a $\lambda = 0{,}1\mu$, determinato da Schumann nello spettro dell'idrogeno, e dalla parte che oltrepassa il rosso fino $\lambda = 30\mu$, determinato da Langley nello spettro del ghiaccio fondente.

Recentemente, operando con spettrografi a quarzo nel vuoto, siamo riusciti a raggiungere quasi il centesimo di *micron* e anche dalla parte dell'ultrarosso si è ampliata l'estensione dello spettro esplorato.

f) Ciascun aeriforme ha, come abbiamo detto, le sue righe caratteristiche, e la posizione di ognuna di esse nello spettro è

stata determinata con grande accuratezza in funzione della lunghezza d'onda.

L'idrogeno, per esempio, presenta nella regione rossa una riga brillante che corrisponde ad una lunghezza d'onda di 0,6563μ, nella regione violetta un'altra che corrisponde a 0,4341μ: il calcio ne presenta una violetta corrispondente a 0,3969μ.

g) Osservando lo spettro di un arco elettrico si trova che un aumento di pressione sui vapori che danno origine alle righe spettrali accresce la larghezza di queste e ordinariamente le sposta verso il rosso: reciprocamente uno slargamento delle linee spettrali ci indica che la sorgente luminosa è sottoposta a pressione.

h) *Huggins* e *Lockyer* rivolsero l'attenzione anche al modo di produzione dello spettro; e con molte esperienze dimostrarono che lo spettro di un elemento è differente, secondo che è prodotto dall'arco elettrico ovvero dalla scintilla elettrica. In questo secondo caso, scompaiono alcune righe e se ne aggiungono invece delle altre, che Lockyer chiamò *righe rinforzate (enhanced lines)*.

Poichè la temperatura della scintilla è maggiore di quella dell'arco elettrico, Lockyer attribuì questo cambiamento dello spettro al trovarsi il corpo in istato di maggiore disintegrazione, e designava questo stato particolare, attribuendo all'elemento il prefisso « proto »; e parlando così di *protoferro*, *protomagnesio*, ecc.

La teoria atomica moderna ha sostanzialmente confermato queste vedute del geniale astronomo, che i contemporanei non seppero comprendere.

Se i corpi vengono sottoposti ad altissima temperatura, p. es. con la scintilla elettrica, alcuni elettroni abbandonano l'atomo, ed allora lo spettro è diverso. In tal modo possiamo dire che *le righe della scintilla sono dovute ad elementi ionizzati.*

Se la temperatura cresce ancora, si producono altri elettroni; ed il corpo si dice allora *bionizzato*, *trionizzato*, ecc.

In generale, ionizzandosi l'atomo, le righe tendono sempre più a spostarsi verso il violetto e l'ultravioletto, finchè esse *divengono invisibili ad occhio.*

« Il fisico indiano M. N. Saha ha recentemente sviluppato una teoria di ionizzazione che rende ben ragione dei fenomeni osservati nello spettro del Sole e delle stelle, e della comparsa o scomparsa delle righe spettrali di bassa ed alta eccitazione dell'atomo ».

i) Una relazione più stretta fra lo spettro di una sorgente luminosa e la sua temperatura è data dalla legge di Wien.

In fisica si chiama temperatura assoluta di un corpo la sua temperatura misurata in gradi centigradi ed aumentata di 273°.

In ogni parte dello spettro si trova distribuita un po' dell'energia

che ha portato con sè il raggio incidente nel prisma. La distribuzione di questa energia nelle varie parti dello spettro si esamina per mezzo di un sensibilissimo termometro chiamato **bolometro.**

Ora nei laboratori si è trovato che gli spettri dei corpi luminosi presentano una regione di massima intensità che va spostandosi gradatamente quando cresce la temperatura della sorgente luminosa.

Lo spostamento del massimo d'intensità incomincia dall'ultrarosso e procede nel senso che va dal rosso verso il violetto. Quando l'intensità massima si trova nella parte dello spettro corrispondente alla lunghezza d'onda di un *micron* la temperatura assoluta è di circa 3000° gradi e precisamente di 2920°. — Nei laboratori si hanno delle temperature inferiori a 4000°; ma entro i limiti nei quali si è potuto esperimentare, si è accertato che la regione di massima intensità si sposta in modo che la lunghezza d'onda che vi corrisponde, è inversamente proporzionale alla temperatura assoluta della sorgente.

Si ammette che questa legge sia vera anche oltre i limiti cui si arriva nei laboratori, allora l'importante sta nel determinare qual è la regione dello spettro che presenta la massima intensità: trovatala, si prende la lunghezza d'onda che corrisponde a quella regione, si divide 2920 per detta lunghezza, ed il quoziente rappresenterà la temperatura assoluta della sorgente luminosa.

l) Supponete ora di essere in un treno che corre e di sentire il fischio di un'altra locomotiva che si avvicina: andando incontro al fischio, voi ne rendete man mano *per voi* più brevi le onde, e quindi, in un minuto secondo, di queste onde ne raccogliete di più che se foste stati fermi. Quale la conseguenza? questa, che sentirete il suono farsi man mano più acuto, come difatti in alcuni esperimenti si è constatato. Il contrario sarebbe avvenuto se i due treni si fossero allontanati l'uno dall'altro: in un determinato tempo voi avreste percepito un numero minore di onde, ossia le onde *per voi* si sarebbero fatte più lunghe ed il suono quindi si sarebbe andato abbassando. Ai suoni bassi sostituite il rosso, agli alti il violetto ed applicate il fatto alla spettroscopia. Ne dedurrete che — se la sorgente luminosa si allontana, renderà *più basse* per voi le sue radiazioni, ossia nello spettro vi sposterà le righe trasportandole alquanto verso il rosso: — se invece la sorgente si avvicina, renderà più acute le sue radiazioni ossia sposterà le righe accostandole al violetto. È questo *il principio di Doppler-Fizeau,* che ha dato sì buoni risultati a Vogel, a Young, al P. Secchi, ecc.

I due movimenti della Terra attorno al Sole ed al proprio asse hanno la loro influenza sullo spostamento di queste righe. Campbell ha dato le formule per calcolare il valore dello spostamento delle righe prodotto da questi due moti della Terra, tenendo conto della parallasse solare, dell'eccentricità dell'orbita della Terra,

della durata della rivoluzione, delle differenze delle longitudini del Sole e del perigeo e dell'angolo che forma la direzione della Terra colla direzione del raggio luminoso che si raccoglie nello spettro. Non stiamo qui a riportare la formula di Campbell; ma il lettore comprenderà che se, delle grandezze che vi compariscono fossero note tutte meno che la parallasse solare, con questa formula si potrebbe anche determinare la parallasse del Sole. Si ha in questo modo la parallasse solare ottenuta con mezzi ottici, come avevamo accennato nel capitolo precedente.

Alla domanda dunque: Che sono le righe spettrali? — rispondiamo brevemente: sono la guida a conoscere la composizione degli astri, ad indagarne le condizioni di pressione, di temperatura e di movimento, a leggere nella luce che essi ci inviano i segreti della loro vita.

2. — **Aspetto che presenta il Sole e strati che lo costituiscono.** — Esaminato con un vetro nero il Sole ci si presenta come un disco bianco di un diametro press'a poco uguale a quello della Luna. Lo strato bianco che noi così osserviamo si chiama **fotosfera** o sfera di luce, e **nucleo** si chiama poi la massa incognita che nella fotosfera si trova racchiusa. Attorno alla fotosfera si distendono diversi altri strati; di questi il primo, a contatto della fotosfera, è lo **strato o guscio d'inversione,** il secondo la **cromosfera,** il terzo e più esterno la **corona** o meglio l'**atmosfera coronale** (v. fig. 55).

Abbiamo detto che, con un vetro nero, si vede la fotosfera presentarsi con l'aspetto di un disco bianco: esaminiamola ora con un canocchiale e la vedremo (come già avvertiva fin da' suoi tempi il P. Scheiner) non più omogenea e liscia, ma varia, ondeggiante e increspata come un mare in tempesta. Si distinguono nella fotosfera i **granuli,** le **facole** e le **macchie.** — I *granuli* (fig. 66-67-68) visibili soltanto nei forti telescopi, spiccano come punti piccoli, lucidi, vivissimi sopra un fondo più oscuro. Sono assai numerosi, e, per contrasto di luce, danno al fondo della fotosfera l'aspetto di un reticolato cupo, assai minuto, detto **rete fotosferica;** e tendendo ad aggrupparsi tra di loro, danno origine ai **filamenti** se si uniscono in linea, ai **grani di riso** se si uniscono sopra areole ellittiche. — Le *facole* (fig. 63), come i grani di riso, sono aree allungate, talvolta ramificate, di splendore vivissimo. — Le *macchie* (fig. 58-63), sono aree dalle forme più diverse, per lo più però grossolanamente circolari, talvolta isolate, più facilmente aggruppate, apparentemente nere e circondate da una corona meno oscura detta **penombra.** La *penombra* di solito sembra formata da strisce dirette come raggi verso il centro o aggirate leggermente a spira; attorno all'ombra o al nucleo della

macchia la penombra ordinariamente sembra rianimarsi per formarvi un anello di luce alquanto più viva, e la continuano poi i **veli rosei** e gli **archi di luce,** che tante volte si vedono attraversare il nucleo o incurvati a modo di ponti.

La *cromosfera* è uno strato di color roseo, ben determinato nella superfice interna a contatto dello strato invertente, ed invece ondeggiato, filamentoso e variabile all'esterno. Dalla cromosfera s'innal-

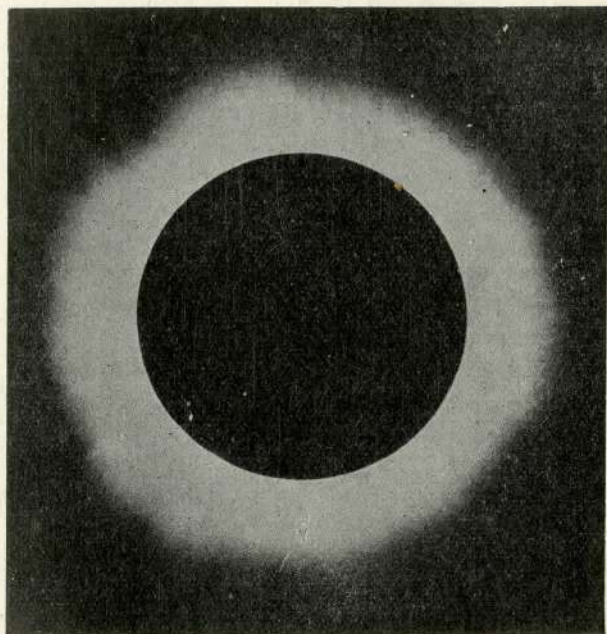



Fig. 55. — Corona solare interiore durante l'eclisse totale del 30 agosto 1905 (Hamburg Abh. III, N. 1).

zano dei getti enormi, pure rosei, variabilissimi di numero e di dimensioni che si chiamano **protuberanze** (fig. 71-72-73).

Ai tre strati che avvolgono la fotosfera si dette il nome complessivo di **atmosfera solare.** Tale nome si estende oggi alla fotosfera.

3. — **Valori numerici e prove dell'esistenza degli strati esterni.** — Ed ora alcune misure. — Ricordate che un arco di 1″ visto da noi sul [1] Sole, là vale 720 km. circa. Orbene, allo strato d'inversione si assegna uno spessore oscillante tra 3″ e 12″, quindi da 2 a 9 mila km., alla cromosfera quello di 10″-12″, quindi da 7 a 9 mila km.; e

[1] v. cap. V, § 1.

all'atmosfera coronale non si danno poi di altezza meno di km. 300000. — Delle macchie non sono rare quelle che ci appariscono da 18″ a 20″ di diametro e che quindi hanno per misura da 40 a 50 mila km. di periferia e superano così le dimensioni della Terra, la quale vista dal Sole apparirebbe sotto un angolo di 17″,60. Alcune riescono talvolta persino visibili ad occhio nudo, e non poche di esse, avvertite anche dagli antichi, furono spiegate con il passaggio di corpi oscuri davanti al Sole, p. es. con i passaggi di Mercurio (si vedano ad esempio anche le opere di Kepler) e di Venere. — I granuli non

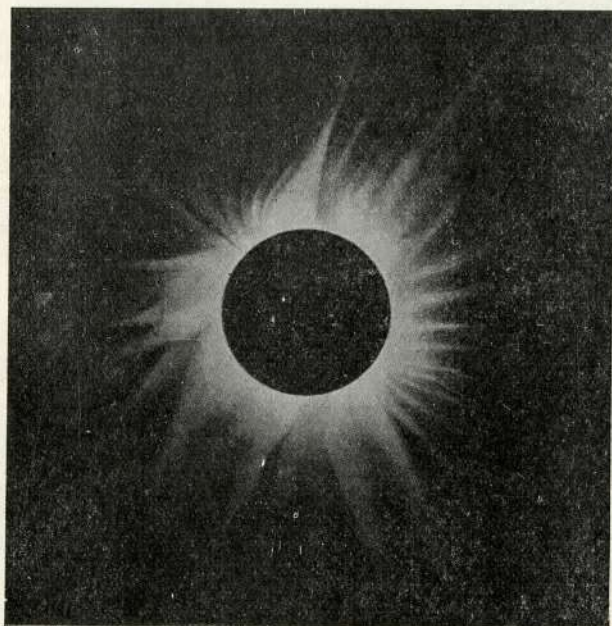



Fig. 56. — Corona solare esteriore durante l'eclisse totale del 30 agosto 1905 (Disegno di Graff, Hamburg Abh. III, N. 1).

misurano che frazioni di secondo, od al più toccano il secondo, e non corrono quindi che da 200 a 700 km. — Da uno a due secondi passano i grani di riso; spaventose invece sono le protuberanze. Immaginate il pino di un vulcano che si slancia sublime in mezzo alle più svariate condizioni di atmosfera. Talvolta è sottile e altissimo, talvolta disperso, talvolta incurvato; ed anche in alto, ora alimenta una nube allungata e persistente, ora si divide in un gregge di nubecole che il vento disperde, ora invece si risolve subito e ricade come pioggia torrenziale. Tali ci si presentano le protuberanze. Questi

getti rosei, filamentosi, si spiccano dalla cromosfera con velocità vertiginosa, e ad ogni istante, cambiando di forma, ora si incurvano, ora si disperdono, ora ricadono nei modi più disparati. Nelle nostre macchine più grandi, il vapore non acquista mai la tensione da poter sfuggire dalle valvole con la velocità di *un chilometro* per secondo; ebbene, le protuberanze si staccano invece dalla cromosfera e si slanciano in alto con la velocità di 200-400, talvolta persino di 800 km. per secondo; vi raggiungono le altezze di 40-50 mila km.; e anche di mezzo milione, e poi in brevissimo tempo si trasmutano e scompaiono! Quella del 3 giugno 1887, che pure non fu certo delle massime, toccò i 130″, quasi dunque i 100 mila km., più di otto volte il diametro della Terra! Nessun fenomeno quaggiù può darci un'idea di tali eruzioni.

Fig. 57.

Dell'esistenza di un'atmosfera attorno al Sole è prova l'assorbimento che vi subiscono le radiazioni della fotosfera: dell'esistenza dei diversi strati speciali — *guscio d'inversione, cromosfera, protuberanze, corona* — si ebbe una prima rivelazione nelle eclissi totali di Sole. Dal 1868, per opera di Janssen, la *cromosfera* e le *protuberanze* sono però diventate uno studio quotidiano allo spettroscopio, ed anche (Osservatorio di Kenwood, 1891) un campo della fotografia.

Fig. 58. — Macchia osservata dal P. Secchi nel 1866.

Hale, Riccò, Hansky ed altri investigatori hanno invano tentato di fotografare la corona in piena luce solare. Per ora queste prove sono rimaste senza successo perchè la corona secondo misure fatte durante le eclissi non sorpassa al massimo lo splendore della luna

piena che ha una luminosità seicentomila volte minore di quella del Sole [1].

4. — **Rotazione del Sole e movimento delle macchie sulla sua superfice.** — Lo studio delle macchie, iniziato da Galileo [2] nel 1610, da Fabricio e Scheiner nel 1611 ha subito rivelato che anche il Sole è animato da un movimento di rotazione che lo aggira sopra se stesso *nel senso nel quale i pianeti corrono sulle loro orbite*, ed attorno ad un asse inclinato di 83° sul piano dell'eclittica e diretto approssimativamente verso δ *Dragone.* Supponete (fig. 57) che il cerchio di centro C rappresenti il Sole; noi vediamo su di esso una macchia passare successivamente per i punti *a, b, c, d* ecc., comparendo all'orlo di est e scomparendo infine all'orlo di ovest, dopo aver percorso una linea obliqua rispetto al nostro asse PP′. Non potendosi mettere in dubbio che le macchie sieno appartenenza del disco del Sole, non foss'altro perchè il loro presentarsi è sempre accompagnato da commozioni della fotosfera, esse dimostrano all'evidenza il movimento in discorso.

In proposito sono della massima importanza alcuni fatti che qui enumeriamo:

1° Le macchie sono rare sull'equatore solare, rarissime al di là del 40° di latitudine; le zone da esse preferite sono quelle comprese

---

(1) Cfr. S. A. Mitchell. *Eclipses of the Sun*, New York-Columbia University Press.

(2) Per l'esame ottico della costituzione del Sole, ed analogamente per quella dei pianeti, occorrono forti ingrandimenti. Crediamo quindi utile di aggiungere una parola a quanto fu detto nel 1° capitolo giacchè le prime domande che il pubblico fa, venendo a visitare i nostri osservatori, sono: « quanto ingrandisce quel telescopio? potrebbe ingrandire di più? »

Diciamo dunque che l'ingrandimento di un canocchiale è uguale al rapporto tra la distanza focale della lente obiettiva (la lente più grande del canocchiale) e la lente oculare (quella dove si pone l'occhio). Per questa ragione, ogni canocchiale è provvisto di una serie di oculari che vi si possono applicare a piacere, variando, entro certi limiti, l'ingrandimento stesso.

Teoricamente sarebbe possibile costruire degli oculari a brevissima distanza focale, in modo da ottenere ingrandimenti di migliaia di volte, anche con un canocchiale di modeste dimensioni. In realtà però le immagini così sforzate, per una serie di cause perturbatrici, (diffrazione, interferenza, aberrazione, difetto di luce, ecc.) appaiono confuse ed inintelligibili. L'esperienza mostra che per *avere buone immagini, l'ingrandimento massimo utile non deve superare le due volte per ogni millimetro di diametro della lente obiettiva.* Così p. es. il più grande canocchiale oggi esistente in Italia, quello di Schiaparelli, potrà dare un ingrandimento utile di circa mille volte, avendo una lente obiettiva di circa cinquanta centimetri di diametro. La Luna si potrà quindi vedere alla distanza di circa quattrocento chilometri; il Sole a centocinquantamila chilometri; Marte, nella massima vicinanza all'epoca di grande opposizione, a cinquantaseimila chilometri, ecc.

Si aggiunga ancora che questi forti ingrandimenti sono applicabili solo quando *l'aria è perfettamente tranquilla*, e l'astro è elevato sull'orizzonte almeno di una quarantina di gradi.

tra 5° e 30° nell'uno e nell'altro emisfero, e sono dette **zone reali.** La loro frequenza è massima tra 10° e 15° di latitudine solare.

2° Il numero delle macchie non è costante, ma passa, benchè con andamento irregolare, da un massimo ad un minimo nel periodo di anni 11,11 (Wolf) (**periodo undecennale**). Pare che nella seconda metà del secolo XVII questo ciclo abbia presentato delle anomalie variando da 8 a 15 anni le distanze tra due massimi consecutivi, e da 9 a 14 anni le distanze tra due minimi, ed anche ora non è undecennale se non in senso un po' largo.

I massimi del secolo scorso si ebbero negli anni 1804,2; 1816,4; 1829,9; 1837,2; 1848,1; 1861,1; 1870,6; 1882,3; 1894,5; i minimi nel 1810,6; 1823,3; 1833,9; 1843,5; 1856,0; 1867,2; 1878,9; 1889,9. Nel secolo presente il primo minimo si ebbe nel 1901,3; il primo massimo nel 1905 con qualche ritardo rispetto al periodo undecennale; e con potente ripresa di burrasche straordinarie fotosferiche e di macchie grandissime. È memorabile la grande macchia del febbraio 1905, la più grande delle macchie da anni fotografate. Il 2 febbraio sottendeva un arco di 4', circa la settima parte del diametro solare apparente, quasi 14 volte il diametro terrestre. È una delle più grandi osservate, quella del settembre 1858 che si presentava sotto un angolo di 5',3 (più di 232000 km.); quella del 1787 si vide sotto un angolo di 4',6. Tutto l'anno 1905 continuarono le macchie aumentando di numero e di intensità. Nel luglio se ne osservò una di 160000 km., che fu anche vista ad occhio nudo dal golfo di Aden, verso sera; nell'ottobre un'altra di oltre 150000 chilometri. I fenomeni durarono anche nel 1906, ed anzi nel febbraio e nell'aprile del 1907 sembrò doversi ammettere un massimo secondario per le belle e grandi macchie apparse in tali mesi, ed un altro massimo secondario, ma vivissimo, si verificò nel 1908 nei mesi di luglio e di agosto, in cui si osservarono enormi gruppi di macchie, che raggiunsero persino 200 mila chilometri.

Il secondo minimo fu nel 1913; l'ultimo massimo ebbe luogo nel 1917 con un gran numero giornaliero di macchie; dopo quell'anno l'attività del Sole andò decrescendo fino al 1923 in cui pochissime macchie furono osservate. Dal 1923 l'attività del Sole ha ripreso rapidamente, e, a norma del periodo undecennale, il massimo dovrebbe cadere in questo stesso anno.

Oltre al periodo undecennale le macchie sembrano soggette a due altri periodi, l'uno di 55, l'altro di 222 anni, anzi, secondo gli studi di A. Schuster, il periodo principale sarebbe esattamente di anni 33,375, con tre periodi di 11,125; 8,38 e 4,81.

3° Nell'epoca di massima attività le macchie si trovano a tutte le latitudini fino a 40°; prima del minimo si raccolgono presso

l'equatore; durante il minimo scompaiono queste macchie circum-equatoriali, e ne sorgono altre nelle alte latitudini: passato il minimo, le nuove macchie che man mano sorgono si vengono progressivamente accostando ancora all'equatore. È questa la *legge delle zone*

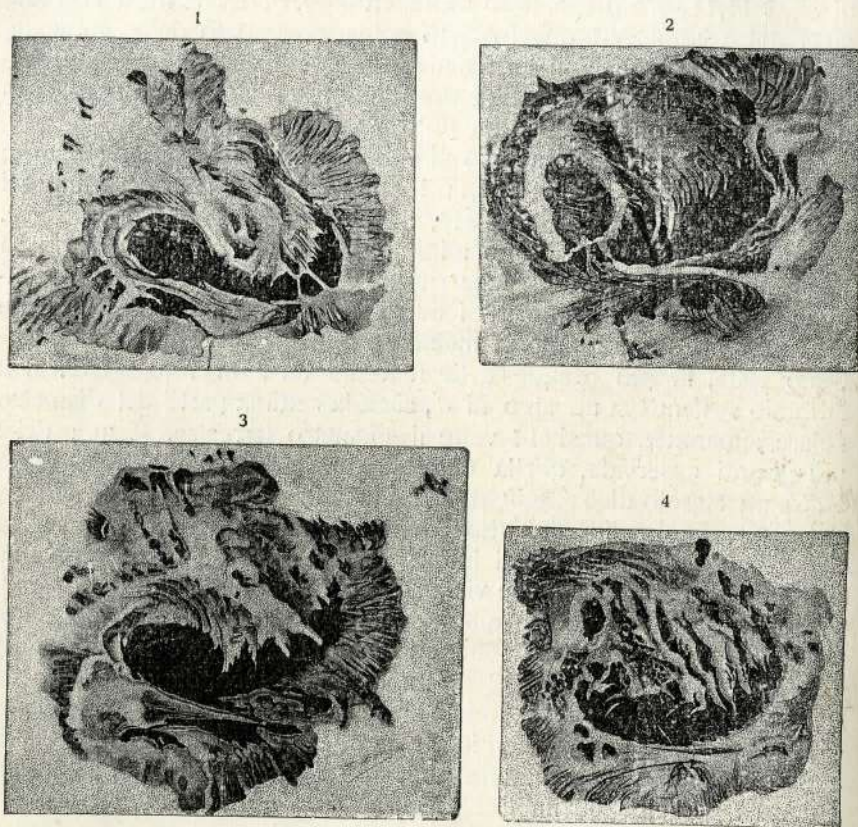



Fig. 59. — Grande macchia solare del febbraio 1894, disegnata da Th. Moreux in Bourges.
1) il 20 febbraio; 2) il 21 febbraio; 3) il 22 febbraio; 4) il 23 febbraio.

di Spoerer, il quale aggiunge che crede di aver constatato uno sviluppo preponderante delle macchie nell'emisfero sud in confronto dell'emisfero nord.

4° L'origine e la durata delle macchie è varia. Alcune si formano rapidamente, altre lentamente; in seguito si allargano, si dividono, si restringono, scompaiono, impiegandovi le une pochi giorni, le altre da due a tre mesi.

5° Le macchie hanno un movimento proprio in latitudine. Quelle comprese tra i paralleli 20° N e 15° S tendono ad accostarsi all'equatore, mentre le altre che stanno tra 20°-35° N e tra 15°-20° S, tendono invece a salire ai poli. Questo movimento è però meno regolare, e basta a dimostrarlo la grande macchia del giugno-agosto 1899, che descrisse una traiettoria assai capricciosa.

6° Le osservazioni di Carrington su 5290 macchie hanno dimostrato che la velocità angolare di rotazione che trasporta tutte le macchie da est in ovest, varia da una macchia all'altra col variare

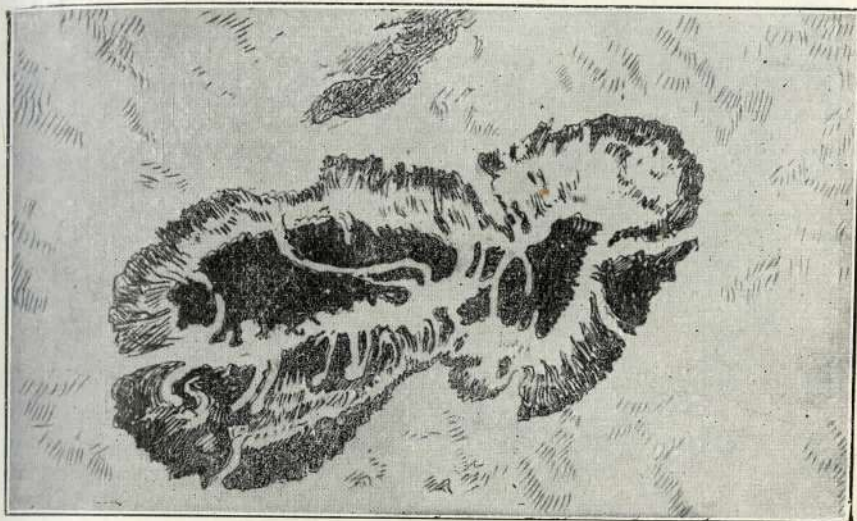



Fig. 60. — La grande macchia solare del 14 ottobre 1901.

della latitudine: in un giorno difatti una macchia percorre un arco di 12° 40′ a 40° di lat., mentre invece ne percorre uno di 12° 20′ all'equatore. Di qui una conseguenza inaspettata e assai importante, ed è che *i diversi paralleli del Sole non impiegano tutti il medesimo tempo a compiere una rotazione attorno all'asse.* Se sulla Terra avessimo un fenomeno analogo, il giorno durerebbe ad es. 24 ore a Quito, sull'estuario delle Amazzoni, sul lago Victoria ecc. (Equatore), invece 25 o 26 ore a Otranto, a Madrid, a Filadelfia a Pekino ecc.

7° Esaminate la figura 25, e supponete in essa, *C* il Sole, ed *m* la Terra, che in 25 giorni passa in *n*. Una macchia dall'equatore solare dopo 25 giorni ritornerà bensì sulla direzione *Cm*, ma per assumere la medesima posizione di prospettiva rispetto a noi, ad

una rotazione intera intorno all'asse del Sole dovrà aggiungere ancora l'angolo nCm, a descrivere il quale impiegherà altri due giorni. Ritenete adunque che è di giorni 25,35 il periodo di rotazione *proprio* di un punto preso *sull'equatore* del Sole e che è invece di giorni 27,35 quello di *prospettiva* rispetto a noi.

8° Richiamiamo ora *il principio di Doppler* e dirigiamo lo spettroscopio agli estremi opposti dell'equatore solare. Per il movimento

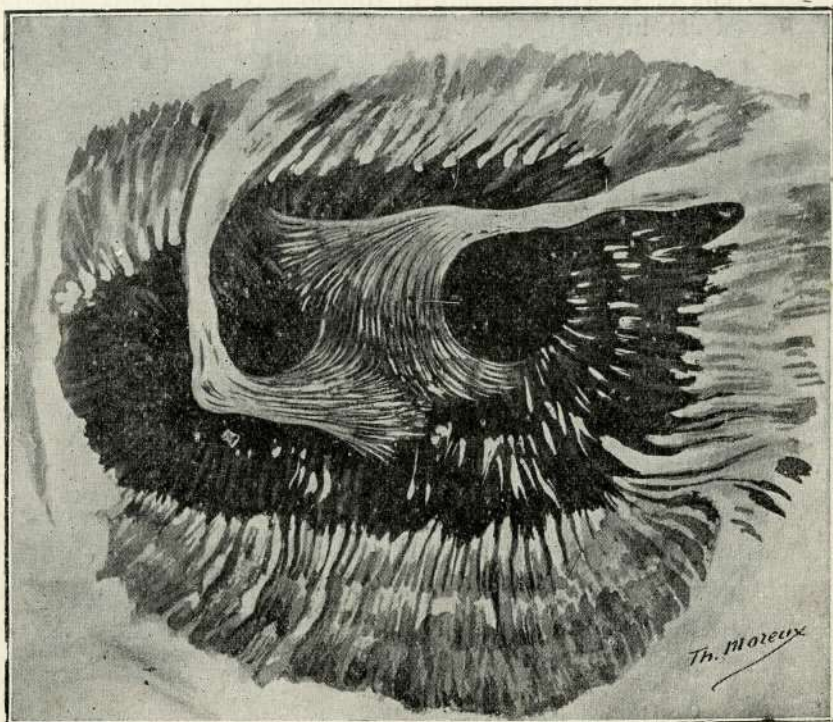



Fig. 61. — Particolare della grande macchia solare del 2 febbraio 1905.

di rotazione generale i punti di est si avvicinano a noi e quelli di ovest si allontanano: che conseguenze daranno? Sposteranno in sensi opposti le righe di Fraunhofer, il lembo di est portandole maggiormente verso il violetto, e quello di ovest verso il rosso. — Osservazioni con questo sistema fecero Young, Dunér ed altri, e con i loro risultati confermarono il periodo di rotazione solare dedotto dalle macchie, ed insieme il decrescere della velocità con il crescere della latitudine, anche nelle alte latitudini (oltre i 50°) nelle quali non si erano mai constatate macchie. — Secondo il Dunér, a 75° di

latitudine il periodo di rotazione del Sole sarebbe di 38 giorni e 13 ore siderali.

5. — **Costituzione del Sole.** — Quali gli elementi che si trovano sul Sole? Si ammette comunemente che la fotosfera darebbe uno spettro continuo e che le righe oscure si devono quindi unicamente all'assorbimento delle atmosfere solare e terrestre: cerchiamo di distinguere quali di queste righe sono prodotte dall'assorbimento della nostra atmosfera, e le altre righe residue ci daranno gli elementi

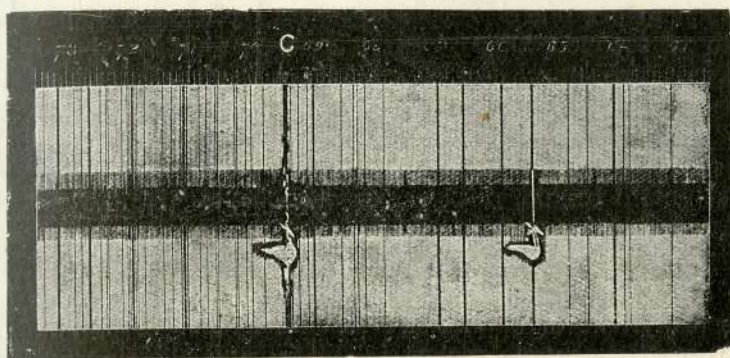



Fig. 62. — Spettro di una macchia, osservata dal Young il 5 agosto 1872.

del Sole. Per discernere le righe telluriche si sono usati diversi processi. Si è esaminato, per es., il raggio solare quando ci arrivava nelle condizioni più diverse per parte della nostra atmosfera (Secchi, Janssen ecc.), e si sono notate nello spettro le righe che crescevano d'intensità con il crescere dell'umidità, dello spessore dell'atmosfera ecc.: queste evidentemente si manifestano telluriche, non solari. — Il Cornu distinse le due serie di righe anche con un'applicazione ingegnosa del principio di Doppler. Proiettò due spettri raccolti da lembi opposti del diametro solare (l'uno dei quali - ricordiamolo ancora - si avvicina, mentre l'altro si allontana), ed in essi notò le righe che si spostavano e le righe che rimanevano stazionarie, e queste seconde, indipendenti dal movimento del Sole, le considerò come telluriche senz'altro. Tali le A, B..... dovute all'ossigeno, l'*a*, presso D, dovuta al vapor acqueo ecc.

Anche sottraendo le telluriche, nello spettro solare si contano però ancora molte migliaia di righe oscure (spettri di Thollon, di Huggins, di Lockyer ecc., e quelli di Langley), e identificandole con

gli spettri che possiamo ottenere dalle sostanze terrestri, esse ci hanno assicurato che sul Sole esistono molti dei nostri elementi, quali il ferro, il calcio, il magnesio, lo zinco, il rame, il cromo, il nikel, il cobalto ecc.

Riassumendo i risultati principali dell'analisi spettroscopica notiamo che:

1° Sul sole si è constatata la presenza della maggior parte dei nostri metalli e di pochi invece dei metalloidi. Dei metalli non si sa nulla dei più preziosi e pesanti (oro, platino, mercurio): per i metalloidi regnano ancora dubbi sullo zolfo, sul bromo ecc.; ed anche sull'ossigeno per ora bisogna sospendere ogni giudizio, perchè se rispetto ad esso da Draper (1877) a Janssen si è lavorato tanto, purtroppo però non si è riusciti che a risultati incerti e talvolta anche contradittori. — Il non essersi constatata la presenza di un corpo non permette però di concludere che sul Sole quel corpo non esista; può darsi che ne occupi le regioni profonde e inaccessibili al nostro occhio, o che si trovi anche negli strati superiori, ma in condizioni a noi ancora ignote.

2° Lo strato invertente, visto direttamente, dovrebbe dare le righe lucide dei metalli incandescenti e vaporizzati che lo costituiscono. E questo avviene di fatto. Nell'eclisse totale del 1870, Young, seguendo gradatamente lo svolgersi del fenomeno, allorchè, poco dopo cominciata o poco prima che finisse la totalità, potè dirigere la fessura dello spettroscopio sullo strato che sta a contatto della fotosfera, vide appunto con meraviglia scomparire le righe oscure, e, per uno o due secondi, sostituirle migliaia di righe brillanti (inversione dello spettro) (1). Tale fenomeno (inversione dello spettro), si potè poi osservare anche senza attendere l'istante dell'eclisse totale. Quando però si osserva nel momento dell'eclissi totale si vede una grande quantità di archi, corrispondenti ciascuno ad uno degli elementi che costituiscono l'atmosfera solare. Gli archi non sono tutti di eguale ampiezza, il che vuol dire che provengono da differenti strati dell'atmosfera, caratterizzati ognuno dall'elemento che dà origine all'arco luminoso corrispondente. Le protuberanze, rispetto alla loro costituzione si distinguono in *metalliche* o *eruttive* e *tranquille* o *quiescenti*. Le prime contengono, specialmente alla base, vapori metallici: le seconde constano quasi esclusivamente di idrogeno e di elio. Vi sono anche protuberanze *bianche*, scoperte da Tacchini e sono fasci di lunghi filamenti di colore quasi bianco, poco luminoso, di natura ancora incerta.

---

(1) Vedi capitolo VI, § 1.

3° Secondo le ricerche del Riccò le protuberanze, quanto alla loro distribuzione e alle loro fluttuazioni, seguono una legge press'a poco identica alla *legge delle zone* data da Spoerer per le macchie. In esse e nella cromosfera esistono elementi ben più numerosi di quanto prima si pensasse.

4° La corona dà due spettri. Questo fatto è di capitale importanza, perchè permette di pensare che la corona consti di gas particolari incandescenti che danno lo spettro proprio, ed insieme di polveri meteoriche che riflettono lo spettro del Sole con fenomeni analoghi a quelli che abbiamo nella luce zodiacale. I due spettri della corona, non hanno sempre eguale intensità, e nelle loro fluttuazioni risentono sempre delle agitazioni degli strati inferiori e di quelle di tutta l'atmosfera coronale. Nell'eclisse dell'aprile 1893 gli spettri in discorso avrebbero anche fatto credere probabile che pure la corona fosse dotata di un movimento di rotazione analogo a quello della fotosfera e il Deslandres avrebbe constatato con lo spettroscopio correnti atmosferiche sull'equatore solare (1905).

5° Nello spettro della corona esiste una riga che non ha corrispondenti con quelle delle sostanze terrestri conosciute; la si è quindi attribuita ad un corpo ipotetico che si è chiamato il *coronio* [1].

Ed ora si può domandare: qual è lo stato di aggregazione del Sole? Tutti i fatti ai quali abbiamo accennato, e tra essi quelli che riguardano specialmente i movimenti delle macchie, rendono assai probabile l'ipotesi che considera questo astro come una massa interamente gassosa; ed Herschel che lo faceva solido, Zöllner che lo diceva liquido, vanno continuamente perdendo terreno. Al di là di questa asserzione ben poco però possiamo aggiungere. Anzi anche lo stato gassoso che al Sole concediamo, esso pure non è per noi che un mistero: Schmidt (1891) che fa del Sole una massa gassosa, a contorni mal definiti, simile a una nebulosa planetaria, e Brewster che lo riduce ad una massa, pure gassosa, ma relativamente tranquilla e senza trasporti di materia per eruzione, segnano difatti due estremi talmente lontani fra di loro da rivelar subito che in tanto hanno potuto inspirarsi alla medesima ipotesi, in quanto questa rimaneva ancora troppo vaga e tutta incertezza. Chi pensa infatti che la densità media del Sole è superiore a quella dell'acqua, e che le

---

[1] Fino al 1882 si è pure creduto riservato soltanto al Sole l'elio (scoperto da Janssen e ritrovato nello spettro solare da Frankland e Lockyer che gli diedero il nome nel 1868); in tale anno però Palmieri riscontrava l'elio anche sulla Terra nelle lave vesuviane e recentemente si sarebbe riscontrato come prodotto di trasformazione della così detta *emanazione* del radio.

Taluni troverebbero nello spettro della corona le righe di altre due sostanze: il *protofluoro* ed il *nebulio*.

molecole lassù, per quanto disgregate, si vengono a trovare sotto una pressione enorme, subito conclude che nessun corpo sulla Terra ci può far comprendere che cosa sia lo stato gassoso del Sole. Qualcuno lo concepisce come uno stato di viscosità e di semifluidità analogo a quello della pece e dei bitumi. Sono immagini queste, che le possiamo adoperare per aiutare la fantasia a rappresentarci in qualche modo una condizione di molecole disgregate tra di loro per il calore, ed insieme incatenate e compresse dalla enorme gravità: sono però sempre immagini nelle quali dobbiamo da un istante all'altro essere pronti a riconoscere che la parte erronea la può vincere e, di gran lunga, sulla vera.

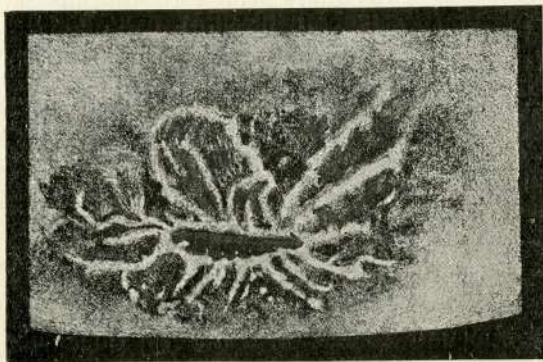



Fig. 63. — Macchia solare con facole.

6. — **Meccanismo dell'atmosfera solare.** — Dopo la chimica, un po' di meccanica dell'atmosfera solare. Incominciamo da quei fenomeni misteriosi che sono le macchie solari: il grande Herschel le considerava come squarciature della fotosfera, le quali permettevano di vedere la superfice solida e oscura del disco solare; al contrario da altri le macchie furono considerate come scorie o nuvole di vapori metallici condensati, galleggianti e roteanti su un oceano di fuoco, che qua e là sotto il peso si deprime. Il P. Secchi che sul Sole ha scritto e fatto immortale il suo nome, con una splendida concezione si persuase un dì, di poter considerare le macchie come le voragini, dalle quali salivano eruzioni gigantesche; purtroppo però egli medesimo, il dotto gesuita, vide in seguito contraddetta la sua ipotesi che davvero tra le proposte era riuscita la più seducente e la più cara. — Nella teoria dell'astronomo di Roma la *penombra* era costituita da torrenti di materia fotosferica, che urtandosi e incalzandosi rabbiosamente, come onde di fuoco in tempesta, correvano a rovesciarsi in un abisso; e gli *archi di luce* e i *veli rosei* non erano che produzioni secondarie della fotosfera irrompente od anche emanazioni del centro. — Alcune di queste interpretazioni si possono accettare anche oggi (1).

(1) V. § 8, II di questo capitolo.

Delle idee chiare su questo argomento le hanno arrecate le recenti scoperte di cui sarà parlato in altro paragrafo; ma anche prima di questi ultimi studi gli astronomi avevano intuito non poco sui movimenti delle macchie solari.

Le *protuberanze,* che ad una prima osservazione suggeriscono spontanea l'idea di considerarle come eruzioni gigantesche della cromosfera, da molti vengono giudicate non un trasporto di materia, ma piuttosto una semplice propagazione di fenomeni luminosi, chimici od elettrici, analoghi, p. es., alle nostre aurore boreali. La rapidità, davvero spaventosa, con la quale le protuberanze si sollevano, sembra dare ragione a questa seconda interpretazione, mentre molti altri fatti, come lo spostamento delle linee spettrali, darebbero ragione alla prima.

Fig. 64. — Padre Secchi.

Le medesime incertezze ci tormentano a proposito della *fotosfera* e degli altri elementi che in essa vediamo ondeggiare. Ordinariamente però la fotosfera è considerata come una nebbia di vapori metallici, nella quale avverrebbero condensazioni analoghe a quelle che da noi producono i cirri e i cumuli; tali condensazioni, di ben altra natura e di ben altre dimensioni delle nostre, là formerebbero i *punti,* i *granuli* ecc.

Tutti i fenomeni sul Sole sono collegati tra loro, come lo sono sulla Terra e in tutto il creato. A fotosfera tranquilla è tranquilla la cromosfera, e tranquilla è pure l'atmosfera coronale. Si agita la fotosfera? Tutto si solleva, la cromosfera colle protuberanze, la corona coi pennacchi, e con tale parossismi da produrre fenomeni che in noi destano vero spavento. Non è solo la concatenazione, sono anche la grandezza, la rapidità, l'incalzarsi incessante dei fenomeni che noi non sappiamo comprendere. Esaminate due fotografie del Sole prese a pochi minuti di distanza (v. fig. 72 e 73) e vedrete quali differenze vi presenteranno: che cosa è dunque avvenuto lassù? Vi saranno certo correnti ascendenti e poi precipitazioni, movimenti convettivi che porteranno all'esterno le materie calde e che, dopo il raffreddamento, le faranno condensare e ricadere

nella profondità: ma quei movimenti chi li comprende? chi li misura?

La *fotosfera,* non può comportarsi come un solido compatto quale la superfice terrestre, ma le sue diverse parti hanno velocità di rotazione differenti. Essa è un mare liquido, o un *mare di nuvole* formate di particelle incandescenti liquide o solide, in sospensione in una mescolanza di vapori e di gas. Il rapido trasporto del calore dal nucleo interno alla superfice compensa le perdite enormi e continue per l'irraggiamento. I vapori caldi interni si innalzano e giunti alla superfice, si raffreddano, si condensano, e trasformati in gocciole, ridiscendono. Le particelle liquide o solide così formate hanno la proprietà ben nota d'avere un potere emissivo grandissimo, molto più grande, a temperatura uguale, del vapore che diede loro origine. Da ciò il fortissimo splendore della fotosfera, e la debolezza relativa della luce emessa dai vapori che la circondano (1).

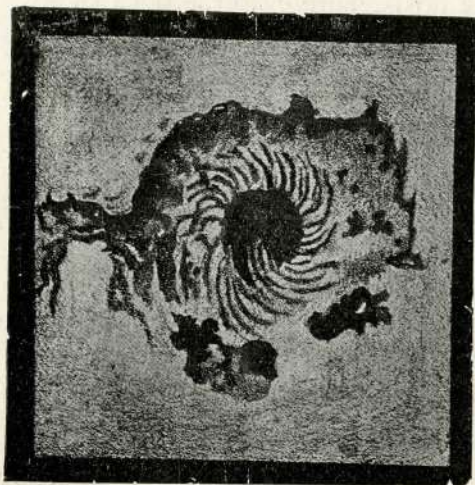



Fig. 65. — Macchia vorticosa.

Le masse che dal nucleo solare arrivano alla fotosfera, trovandovi una temperatura inferiore a quella degli strati sottostanti, si scindono. Alcuni degli elementi si condensano, e ritornano verso il nucleo: probabilmente quelli le cui righe non compariscono nell'analisi spettrale. La loro condensazione fornisce calore agli elementi rimanenti, i quali continuano nella loro ascensione verso gli strati superiori, ove avviene un nuovo abbassamento di temperatura, ed una nuova selezione, per il condensamento di alcuni elementi, analoga a quella che abbiamo immaginato per la fotosfera. Chi sa che, in seguito, gli strati, invertente, cromosfera, corona, non si possano distinguere l'uno dall'altro per gli elementi che in essi si condensano e ritornano verso il nucleo. Veramente queste selezioni non procedono per salti; ma si possono, per comodità della nostra mente, distribuire in gruppi.

La materia che condensandosi, ritorna al nucleo, porta con sè le velocità superficiali, e ciò potrebbe darci la spiegazione delle velocità rotatorie che ci appariscono maggiori all'equatore solare che ai poli.

---

(1) N. Deslandres, *Annuaire du B. del Long,* 1907.

Il progredire della condensazione verso gli strati esterni, va di pari passo col decrescimento della pressione. Gli aeriformi che rimangono cominciano a tenere in sospensione delle nubi liquide, e forse anche delle polveri di corpi solidi. Allora *la circolazione della materia,* da *interna* si trasforma in circolazione *esterna.*

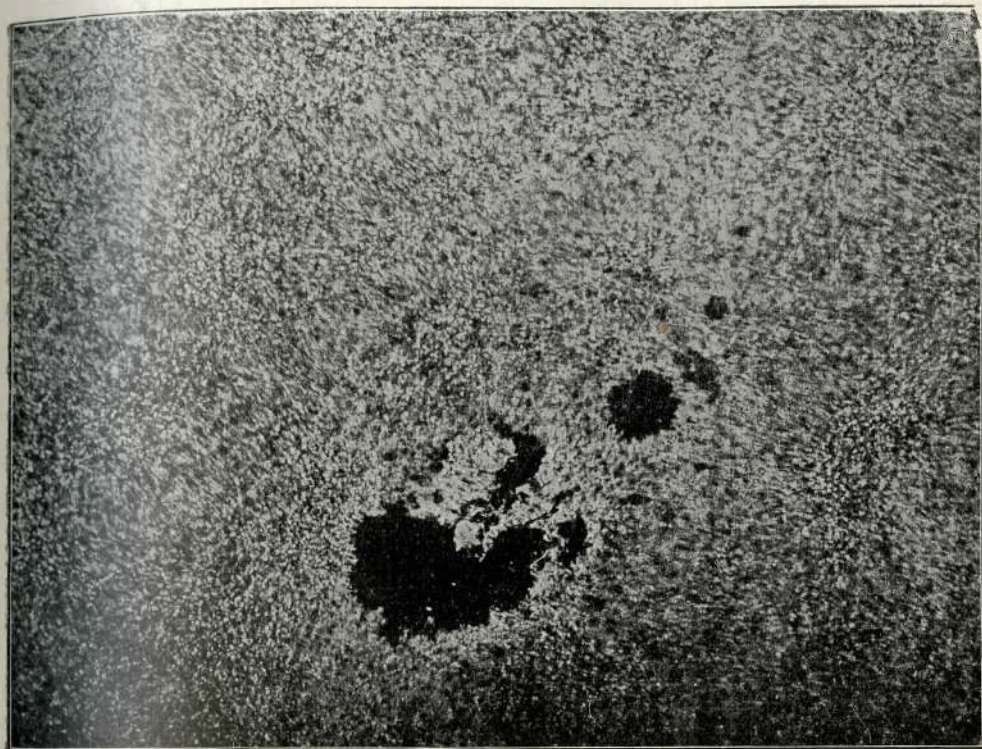



Fig. 66. — Struttura a grani di riso della granulazione, e gruppi di macchie.
(Rilievo fotografico di Janssen a Meudon, presso Parigi — 1° giugno 1882 — massimo di macchie).

Questa si comprende facilmente se si applica alla luce il concetto di energia. Già il nostro Bartoli († 1896) aveva immaginato un dispositivo sperimentale che potesse servire a mostrare **la pressione della luce**: ma soltanto il Poynting riuscì ad effettuare le esperienze ideate dal Bartoli e ne riferì sui *Proc. of the Royal Society* (1). Anche il Lebedew nel 1910 (2) riferì delicati esperimenti che mostrano

(1) A. t. 83.
(2) Wien, *Ann.* t. 32.

l'esistenza di detta pressione, e la misurò trovando valori assai concordanti con le previsioni. Se dunque la cromosfera e la corona posseggono delle particelle che possono rassomigliarsi al pulviscolo della nostra atmosfera, ma che dovrebbero essere di dimensioni ancora più piccole, che cosa se ne deve pensare?

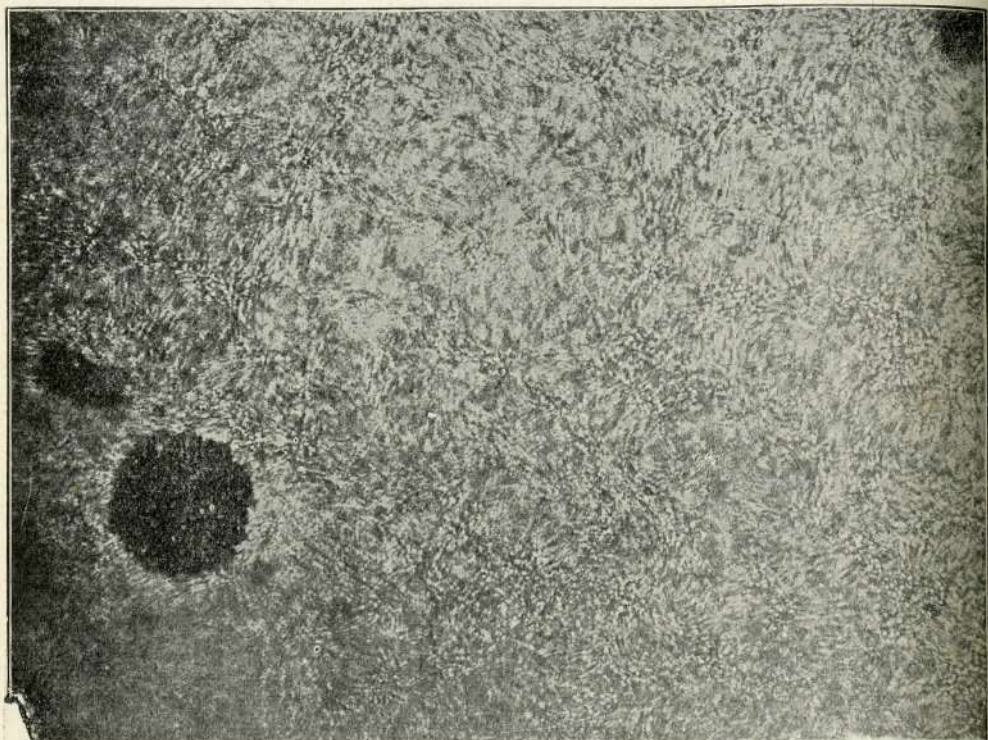



Fig. 67. — Struttura a foglie di salice della granulazione e macchia solare di conformazione simmetrica (Rilievo fotografico di Janssen a Meudon, presso Parigi — 10 giugno 1887 — minimo di macchie).

Siccome la luce esercita sui corpi una pressione proporzionale alla loro superfice, mentre, per la legge di Newton, il Sole li attrae proporzionalmente alla loro massa, se questi corpi sono sferici la pressione luminosa è proporzionale ai quadrati dei loro raggi, e l'attrazione ai cubi dei medesimi. Ne viene di conseguenza che quando queste sfere impiccoliscono, la forza d'attrazione decresce più rapidamente della pressione luminosa, finchè quest'ultima prende il sopravvento e la materia cosmica che era stata attratta verso il Sole, dopo essere stata ridotta dall'energia solare in minutissime particelle,

ne viene espulsa verso gli spazi interplanetari. Il Sole è dunque una specie di cuore del sistema solare, un centro di circolazione per la materia cosmica che può cadere sotto il suo dominio.

7. — **La scoperta del 1872.** — Usiamo l'articolo determinativo *la* perchè questa, di cui siamo per parlare, si può considerare come una scoperta inaugurale di tempi nuovi e ne possiamo attribuire il merito a G. B. Donati che, indipendentemente da Young, osservava l'inversione dello spettro [1] in corrispondenza delle macchie solari il 26 aprile 1872 guardando il Sole da un padiglione provvisorio elevato in prossimità dell'Osservatorio di Arcetri, allora in costruzione. Ecco come si esprime il Donati in una lettera inviata al Prof. Tacchini presidente della Società Italiana degli Spettroscopisti in data 28 aprile 1872:

« Per mie vedute particolari ho fatto costruire qui in Firenze uno spettroscopio, che in piccolissimo spazio racchiude 25 prismi, 16 dei quali di flint extradenso. Tutti questi 25 prismi rifrangono e disperdono un raggio di luce prima che esso arrivi all'occhio dell'osservatore e la loro dispersione è tale che all'occhio giunge soltanto la stria B di Fraunhofer ed una piccola parte del rosso che nello spettro solare sta a destra e a sinistra di quella stria. Questo spettroscopio l'ho applicato all'unico canocchiale che posso ora adoprare, e come le ho già detto quel canocchiale ha un'apertura di 13 cm. ed è montato sopra una piccola macchina equatoriale.

« Io non ho posto lo spettroscopio direttamente nel fuoco dell'obiettivo, ma sibbene dietro l'oculare del canocchiale, in modo che alla distanza a cui trovasi la fenditura del collimatore dello spettroscopio, l'immagine del Sole ha un diametro di 15 cm.

« Ieri l'altro, mattina del 26, essendo di passaggio qua a Firenze il Sig. Schweizer, direttore dell'Osservatorio di Mosca e desiderando esso di vedere l'osservatorio che si sta costruendo vi andai in sua compagnia, e nell'esser là percorsi varii punti sul contorno del disco solare per fargli vedere la stria B diventare lucida. Poi, giacchè vi erano, verso il lembo occidentale del Sole, due grossi gruppi di macchie, portai sulla fenditura dello spettroscopio, prima l'uno, poi l'altro dei gruppi e allora io vidi che la stria B che, come è noto, apparisce scura quando si osserva nell'interno del disco solare, aveva nei luoghi corrispondenti a quei gruppi di macchie un piccolo filo rosso, assai più lucido del rosso circostante, e che era situato dalla parte più rifratta dello spettro. Pareva insomma che sulle macchie

---

[1] Vedi § 1 di questo Cap. lettera *c*.

vi fossero due strie, una meno rifratta e l'altra lucida più rifratta e immediatamente contigua alla prima. Notato da me questo fatto lo feci osservare anche dal Sig. Schweizer il quale lo constatò pienamente e ne rimase sorpreso. Anche ieri ed oggi (28 aprile) sono stato ripetendo le stesse osservazioni ed ho sempre riveduto lo stesso fenomeno ».

A proposito di questa sua osservazione il Donati aveva scritto « se per ora non è una completa scoperta, può essere il germe di scoperte importantissime e del tutto nuove » ed avêva ragione. Egli chiamava « strie » quelle che poi furono dette righe spettrali, ed intanto osserviamo che quella riga dell'idrogeno da lui presa di mira aveva lo stesso splendore tanto quando era osservata in corrispondenza della fotosfera, che quando era osservata in corrispondenza delle macchie; ma lo splendore di quella faceva sembrare oscura la riga dell'idrogeno che poi appariva nel suo splendore allorchè era osservata sullo sfondo meno lucente delle macchie. Essa doveva dunque provenire da uno strato di idrogeno avente una temperatura inferiore a quella della fotosfera e superiore a quella delle macchie. Inoltre quelle « due strie, una meno rifratta e l'altra lucida più rifratta » dovevan provenire da due strati di idrogeno e precisamente quella che il Donati chiama meno rifratta, doveva essere una riga slargata, per effetto della pressione a cui era sottoposto quell'idrogeno che la emetteva (v. § 1 *g*), o spostata per effetto Doppler. Insomma vi era in questa osservazione il germe di parecchie novità; ma non si sarebbe potuto continuare su quella strada se la fotografia non fosse venuta a sostituire l'occhio dell'osservatore e la tecnica moderna non avesse perfezionato i canocchiali per l'osservazione.

Fig. 63. — La granulazione solare con un poro.

8. — Le conquiste dello spettroeliografo. — Un prisma (o un reticolo) per poter dare tutti i risultati di cui è capace, deve essere

applicato a un canocchiale di parecchi metri di distanza focale. Per evitare oscillazioni e perturbazioni, si è trovato utile di porre questo canocchiale in posizione fissa e precisamente in posizione verticale,

Fig. 69. — La torre solare di Arcetri.

sostenendolo con un'alta armatura a foggia di torre, appositamente costruita, in ferro od in cemento armato. Le lenti obiettive che si usano in questi canocchiali possono avere una grande superfice, e ciò è utile specialmente quando si ricorre a una considerevole

dispersione dello spettro: in questo caso è necessario avere una buona provvista di energia luminosa, altrimenti non si vede più niente e la lente a grande superfice serve appunto per raccogliere la quantità d'energia necessaria. Naturalmente, per far cadere l'immagine del Sole in un canocchiale a torre, occorre collocare alla sua estremità degli specchi mobili con un meccanismo di orologeria.

Già abbiamo visto questa specie di canocchiali al cap. III, § 3. Dopo quello di 50 metri del M. Wilson viene il nostro di Arcetri (Firenze). È alto 25 metri, ha una distanza focale di 18 m.; l'immagine del Sole che se ne ottiene è di 18 cm.; e se ne ha lo spettro per mezzo di un apparecchio detto spettrografo (spettroeliografo) in un pozzo profondo 10 metri.

Con siffatti canocchiali si esamina la superfice solare palmo a palmo. Supponiamo di aver fissato il nostro strumento di ricerca su una determinata parte del Sole e di raccogliere i raggi che emette quella parte su una finissima fenditura. Da essa passerà una tenue striscia di luce che, raccolta da un prisma (o da un reticolo), si decomporrà. Se la parte di Sole che ha potuto inviare la sua luce su questa tenue fenditura era costituita di idrogeno, la luce decomposta dal prisma, ossia lo spettro, ci mostrerà la linea azzurra caratteristica di questo gas e volendo potremo *raccogliere su una lastra fotografica* l'impressione di questa striscia. Si sposti ora delicatamente la fenditura: questa raccoglierà i raggi che provengono da una regione del Sole vicina alla prima; e, se anche lì vi è dell'idrogeno, la nostra lastra si impressionerà di un'altra riga vicinissima alla prima. Se invece non vi fosse stato idrogeno, e la lastra fotografica fosse stata preparata per essere impressionata soltanto dalla striscia di questo gas (monocromatica) in corrispondenza della fenditura spostata non si avrebbe nessun segno sulla lastra. Percorrendo colla fenditura tutta quanta la superfice solare si otterranno sulla lastra delle righe soltanto in corrispondenza di quelle parti che sono costituite da idrogeno. Si avrà, in altre parole, una fotografia (monocromatica) dell'idrogeno della superfice solare. Preparando invece una lastra capace di essere impressionata soltanto dalla luce della riga gialla del sodio, si potrebbe tentare una fotografia per lo studio della distribuzione del sodio sulla superfice solare.

Un apparecchio di questo genere si chiama **spettroeliografo** e ha dato un potente sviluppo agli studi dell'atmosfera solare. Lo spettroeliografo fu inventato da Hale nel 1892 e inaugurato nell'Osservatorio solare di M. Wilson che è centro delle indagini spettroscopiche sul Sole eseguite da una quindicina di stazioni sparse in Europa, Asia e America.

Negli studi solari si distinse in Italia il compianto Prof. Riccò, direttore dell'Osservatorio di Catania; anche dopo la sua morte l'Osservatorio è rimasto fedele alle tradizioni; ma a Catania si aggiunge oggi con la sua grande torre solare l'Osservatorio di Arcetri (1) cui toccò l'onore di diventare Osservatorio centrale delle osservazioni visuali delle protuberanze, anzi nella riunione di Cambridge del 1925 gli fu affidato l'incarico di pubblicare le immagini spettroscopiche del bordo osservate ad Arcetri, Catania, Madrid, Zô-sè, Zurigo ecc.

L'esame delle linee spettrali ha dato origine anche al perfezionamento della scoperta di G. B. Donati, ricordando nel suo svolgersi il famoso aneddoto di Apelle e Protogene che facevano a gara a disegnare al di dentro di una linea sottile, un'altra ancora più sottile. Osservando con lo spettroeliografo p. e. la linea K del calcio, ci si avvede che al di dentro di essa se ne trova un'altra di diverso splendore e al di dentro di questa, una terza: le tre linee, chiamate rispettivamente K_1, K_2, K_3, provengono da tre strati di calcio sottoposti a pressioni e temperature differenti (2).

Si può quindi studiare la distribuzione di un elemento a profondità differenti dell'atmosfera solare, oppure dall'aspetto di una riga luminosa dedurre la pressione che sopporta il gas incandescente.

Divideremo l'esposizione dei risultati ottenuti con le ricerche spettroeliografiche in due parti.

I. *Sull'atmosfera del Sole in generale:*

1° All'Osservatorio di Kodaikanal viene misurata regolarmente la superfice dei **flocculi,** *nubi di calcio o di idrogeno messe in evidenza dallo spettroeliografo.*

2° Le facole ed i flocculi presentano fra loro una grande analogia. Il P. Cortie da un confronto minuzioso della forma delle facole e dei flocculi, giunse alla conclusione che le facole corrispondono alle parti basse dei flocculi, e che le parti elevate di questi si distendono negli strati superiori dell'atmosfera solare senza produrre alcun fenomeno visibile sulla fotosfera.

Per mezzo della luce monocromatica si fotografò lo strato superiore del calcio nell'atmosfera solare. L'atmosfera formata di calcio, dividesi in tre strati: lo strato di vapori più basso, è rivelato dalla luce della riga spettrale H_1 o K_1; lo strato intermedio dalla luce della H_2 o K_2; lo strato più alto dalla riga H_3 o K_3. Il Deslandres (3) riuscì, mediante un potente spettroeliografo, ad isolare le

---

(1) I primi lavori eseguiti alla torre solare di Arcetri sono: G. Abetti. *Sulla struttura delle righe dell'idrogeno e della riga H del calcio sulla cromosfera solare.* — Idem. *Osservazioni di protuberanze e della cromosfera solare eseguite nel 1925.* — Idem. *Sulla struttura della riga H α nella cromosfera solare.* — Idem. *Osservazioni sui moti dei vapori metallici nelle macchie solari.* — Idem. *Sull'effetto Evershed nelle macchie solari.* —

(2) V. § 1, lettera g di questo capitolo.

(3) V. *Comptes Rendus,* 1908, 2° semestre, pag. 334.

righe K_3, K_2 e K_1, ottenendo così le immagini dei tre strati sovrapposti. I flocculi relativamente oscuri del calcio, ottenuti con la riga K_3, si rivelarono di due sorta: gli uni in forma di *filamenti*, gli altri come plaghe oscure, abbastanza larghe, e circondanti i grossi e lucidi flocculi connessi con le facole e con le macchie solari; Deslandres li chiamò *anelli facolari*. Molti furono i filamenti rilevati da lui, ed uno persino che si estendeva da un orlo all'altro del Sole; essi per lo più si di-

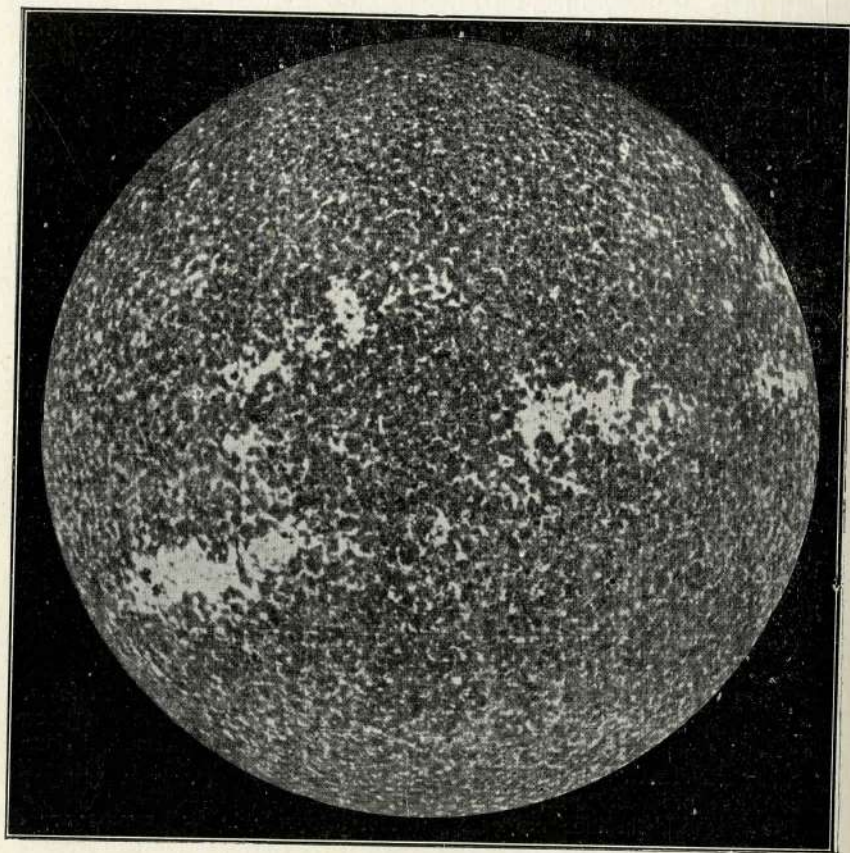



Fig. 70. — Il Sole fotografato nella linea K di calcio

spongono con una certa regolarità in vicinanza dei gruppi di facole, e sono sede di rapidi movimenti: questi filamenti sono la traccia di vortici ad asse orizzontale, che sarebbero analoghi ai vortici ad asse orizzontale dei temporali della nostra atmosfera, e sembrano prodotti specialmente a cagione delle circolazioni in senso contrario che avvengono tra due vortici corrispondenti a facole od a macchie.

3° Nello studio della distribuzione degli elementi a varia profondità si è potuto accertare che il vapore di calcio raggiunge il massimo livello di 14 mila chilometri; segue l'idrogeno con un livello medio di 10 mila chilometri; l'elio

che raggiunge i 7 mila chilometri; poi vengono gli elementi che danno luogo alle righe spettrali specialmente sensibili alle variazioni di temperatura e di eccitazione elettrica, come lo stronzio, il titanio, il manganese ecc. Infine ad un livello medio di 300 chilometri trovasi la maggior parte degli elementi pesanti.

4° A complemento di quanto fu detto al comma 6-7 del paragrafo 4 aggiungiamo: le righe spettrali appartenenti ai vapori metallici degli strati inferiori della cromosfera danno un periodo di rotazione che aumenta dall'equatore ai poli. All'equatore il periodo è di giorni 24,5 (km. 2,1 al secondo); alla latitudine di 80° diventa eguale a 30,5. Il Sole non ruota dunque come un corpo solido, ma come un corpo liquido o gassoso, e quindi la velocità dei vari punti del suo involucro variano non soltanto con la latitudine, ma anche ai vari livelli dello stesso. Per il massimo dislivello conosciuto fra le righe H e K del calcio, si trovano differenze corrispondenti ad una velocità lineare all'equatore maggiore per le prime di circa 0,4 chilometri, con differenza crescente ad alte latitudini. Il periodo di rotazione dell'idrogeno risulta di 23 giorni, quasi costante per tutte le latitudini, e quindi al suo livello sulla fotosfera, a circa 10 mila chilometri, manca l'accelerazione equatoriale, e questo gas non segue come il calcio la legge di rotazione degli strati inferiori, ma si muove come un corpo solido.

5° La cromosfera emette, probabilmente, dei raggi catodici o corpuscoli elettrizzati negativamente e animati da velocità comparabili alla velocità della luce (1).

II. *Sulle macchie in particolare.*

Le misure effettuate su macchie isolate e regolari permisero egualmente di calcolare le profondità delle macchie al di sotto del livello della fotosfera. In generale la profondità trovata è di un secondo d'arco, il che rappresenta 750 chilometri. Qualcuna raggiunse 4 secondi, ossia 3 mila chilometri. Durante il corso della sua evoluzione, la profondità della macchia diminuisce.

Hale all'Osservatorio solare di Monte Wilson, dalle belle e notevoli immagini monocromatiche del Sole, si accorse dell'esistenza di vortici sopra le macchie

(1) La teoria dell'emissione ammessa da Newton e dai suoi successori per spiegare la luce ordinaria, abbandonata dopo il trionfo della storia delle ondulazioni, ritorna oggi in onore. Così il Sole, e probabilmente anche tutti i corpi, emetterebbero insieme le due radiazioni, la radiazione ondulatoria e la radiazione di emissione.

Se l'*energia*, e quindi anche l'*energia luminosa*, ha, secondo le teorie moderne, *una massa come la materia*, essa deve subire l'attrazione di altre masse, per es. del Sole, onde in prossimità di queste deve avere un *peso*. Dovrà perciò la luce, secondo la legge newtoniana, flettersi passando in vicinanza del Sole. Einstein per via diversa, giunge alla medesima conclusione; la propagazione della luce non è rigorosamente rettilinea negli spazi ove vi siano corpi. A questo effetto se ne aggiunge un altro proveniente esclusivamente dalle teorie einsteiniane e d'indole geometrica: lo spazio presso gli astri s'*incurva*, e i raggi luminosi seguono necessariamente tale curvatura. I calcoli di Einstein mostrano che i due effetti sono eguali, e perciò la deviazione dei raggi luminosi deve essere doppia di quella attribuibile all'effetto del peso della luce. Un raggio di luce che rasi il lembo solare, dovrebbe essere deviato di 1″,7 complessivamente. I risultati delle misure eseguite sulle lastre fotografiche in occasione della eclisse totale del 9 maggio 1919 dagli astronomi inglesi a Sobral nel Brasile e all'isola Principe, sulle coste meridionali dell'Africa, riuscirono con approssimazione sufficente conformi alle previsioni. Per confermare vieppiù la cosa, furono organizzate per l'eclisse totale del 21 settembre 1922, tre spedizioni: una (Indiani) alle isole Maldive (Oceano indiano); una seconda all'isola Christmas, a sud di Giava (Inglesi); la terza sulle coste occidentali dell'Australia (Americani).

solari, ed inoltre come un'aspirazione, o succhiamento di flocculi, ossia di gas, e di vapori, entro al nucleo. Questo fatto confermerebbe l'ipotesi del P. Secchi e di Faye, secondo la quale le macchie sarebbero dei vortici, con assorbimento verso il loro centro o nucleo.

Il moto dei vapori sopra le macchie ha luogo in direzione parallela alla superfice del Sole, con velocità variabile secondo la loro altezza. Facendo l'osservazione quando le macchie sono presso i lembi del Sole, si trova che i vapori che danno origine alle righe di debole densità, fluiscono dalla parte centrale della macchia verso il contorno, mentre i vapori che producono le righe di intensità maggiore si muovono dalla periferia verso il centro della macchia. Si ha una circolazione continua e regolare dei vapori dall'interno della macchia verso l'esterno negli strati più bassi; dall'esterno verso l'interno negli strati più alti. A questa circolazione regolare si dà il nome di movimento *radiale*. Vi è anche un movimento *vorticoso*, rivelato dallo studio delle fotografie monocromatiche del Sole, usando generalmente le righe violette H e K del calcio, e la rossa $H\alpha$ dell'idrogeno. La struttura vorticosa dell'atmosfera dell'idrogeno è visibilissima attorno alle macchie; e quando queste sono portate al lembo, si vedono apparire delle protuberanze. I flocculi chiari sono prevalentemente presso a regioni perturbate, e sono sedi di eruzioni violente che si manifestano all'orlo del Sole come protuberanze eruttive e metalliche, di forma molto variabile e in rapida trasformazione. Flocculi oscuri, specialmente quelli di idrogeno, si trovano non solo vicino alle macchie ma sparsi su tutta la superfice del Sole, e rappresentano anch'essi masse e nubi d'idrogeno che probabilmente hanno raggiunto grandi altezze, ed essendosi raffreddate, appaiono come forti regioni di assorbimento. Di qui la loro apparenza di protuberanze all'orlo, dette quiescenti, meno variabili delle eruttive nella forma e che possono durare a lungo, anche per più di una rotazione solare. Talvolta le variazioni delle protuberanze quiescenti possono avvenire con rapidità simile a quella delle eruttive. Del moto vorticoso partecipano qualche volta anche le protuberanze. Le medesime fotografie monocromatiche raccolte da diversi anni rivelano che i vortici talvolta coprono vaste aree della superfice solare, e il moto dell'idrogeno al disopra delle macchie si avvolge a spirale verso il centro della macchia e verso il suo interno. Nella fotosfera corrispondente devono svolgersi vortici di basso livello nei quali il moto dei gas si delinea a spirale dai livelli più bassi della macchia verso i più alti e verso l'esterno, parallelamente alla superfice del Sole. Esperienze di laboratorio dimostrano che un vortice primario formato ad es. nell'acqua può produrre un vortice secondario in un'atmosfera gassosa a contatto con l'acqua stessa, analogamente a quanto sembra succedere per i vortici d'idrogeno al disopra delle macchie.

Ponendo una sorgente luminosa tra le armature di una potente elettro-calamita, lo spettro della sorgente si modifica, ed in particolare le righe luminose si sdoppiano; le due righe nuove che compaiono, vengono dette *coppia magnetica,* e son polarizzate ognuna circolarmente, ma in senso opposto. Tale è il **fenomeno di Zeeman,** e l'esistenza di una coppia magnetica osservata con lo spettroscopio ci fa arguire l'esistenza di un forte campo magnetico nella sorgente luminosa.

Orbene le indagini di Hale dimostrarono nella luce emessa dalle macchie solari il *fenomeno di Zeeman,* il che rivela un'azione elettromagnetica nelle medesime, e portarono alle seguenti conclusioni:

a) L'ipotesi di Secchi e di Faye sul moto vorticoso delle macchie solari acquista una prova validissima: come pure quella di un'aspirazione di materiali solari verso il centro della macchia; *b*) la supposizione di Bigelow di un'azione elettromagnetica nelle macchie solari e di formazione di campi magnetici con le linee in direzione radicale, è confermata; *c*) è convalidata direttamente l'ipotesi di una influenza delle macchie solari sul magnetismo terrestre.

Hale ha il merito grandissimo di aver posto fuori di dubbio lo *sdoppiamento* ed in alcuni casi il *triplicamento* delle *righe di Fraunhofer* nello spettro delle macchie solari, di averne compreso la grande importanza e di averne dato la spiegazione per mezzo delle esperienze di laboratorio fatte alcuni anni fa da *Zeeman*. Ma ci è grato ricordare che come risulta dalle memorie dell'Acc. Pont. dei Nuovi Lincei, la scoperta dello sdoppiamento delle righe appartiene ad un astronomo italiano, il Prof. *Lorenzo Respighi*, antico direttore dell'Osservatorio di Campidoglio che vide il fenomeno quaranta anni prima di Hale.

Si è scoperta la multipolarità magnetica in macchie distinte, cioè il cambiamento di segno dall'una all'altra macchia. Anche una macchia attraversata da un ponte luminoso, può presentare due campi magnetici di polarità opposta. L'intensità del campo di una macchia varia press'a poco in proporzione della grandezza dell'ombra e non dell'estensione del gruppo. Macchie di grandezza media hanno una intensità variabile di 2000 a 3000 gauss, mentre alcune delle maggiori giunsero fino a 4000 gauss. Lo studio sistematico della polarità delle macchie e delle varie sue parti, conduce ad una classificazione delle macchie nei seguenti tipi, nei quali insieme all'apparenza della macchia stessa, fu presa in considerazione la distribuzione dei flocculi che l'accompagnano, visibili negli spettroeliogrammi eseguiti con le radiazioni del calcio e dell'idrogeno: *a*) *Macchie unipolari*, che sono macchie singole o gruppi di macchie che hanno la stessa polarità magnetica. In queste la distribuzione dei flocculi di calcio può presentarsi o simmetricamente intorno alla macchia (α), o seguente (αp) o precedente la macchia stessa (αf). — *b*) *Macchie bipolari*, la cui caratteristica consiste in due macchie di polarità opposta. Una delle macchie, od ambedue, possono essere sostituite da molte piccole macchie. — *c*) *Macchie multipolari:* i gruppi di questo tipo, che sono ben pochi in confronto al numero totale delle macchie osservate, comprendono macchie di polarità opposta distribuite tanto irregolarmente che non è possibile classificarle come gruppi bipolari.

Sembra che le macchie bipolari possono servire a caratterizzare un periodo undecennale di attività solare, per il modo con cui si presentano. Nell'emisfero boreale, durante un medesimo periodo, le macchie, aventi polarità magnetica dello stesso nome precedono

sempre quelle aventi polarità di segno opposto: nell'emisfero australe avviene lo stesso fenomeno, ma con ordine invertito. Nel periodo undecennale immediatamente seguente, l'ordine con cui si presentano le polarità nell'emisfero boreale passa a quello australe, e viceversa. Ci autorizzano a pensare così le seguenti osservazioni.

Durante l'ultimo ciclo dell'attività solare, dalle osservazioni eseguite al M. Wilson prima del minimo del 1912 si trovò che la polarità della macchia precedente, in un gruppo bipolare nell'emisfero boreale, era sud, cioè negativa, e che quella della macchia seguente era nord o positiva. Le macchie dell'emisfero australe davano polarità opposta. Dopo il minimo del 1913 le macchie, a elevate latitudini, le quali annunziano la comparsa del nuovo ciclo, a confronto delle macchie a bassa latitudine, che chiudono il ciclo precedente, presentavano polarità opposta a quella del ciclo precedente. Tali continuarono durante tutto il ciclo 1913-1922, ed era naturalmente interessante di verificare se una nuova inversione avesse luogo col principio del nuovo ciclo. Difatti nella seconda metà del 1922 comparvero ad alta latitudine le macchie foriere del nuovo ciclo e la loro polarità si mostrò di nuovo invertita, cioè uguale a quella che si aveva prima del 1913. Siccome un periodo undecennale presenta polarità opposte al precedente, così il periodo completo sarebbe di 22 anni.

Rispetto al magnetismo terrestre, alla variabilità del campo magnetico E. W. Maunder pubblicò un lavoro sulle perturbazioni registrate dal 1882 al 1903 all'Osservatorio di Greenwich. Le principali conclusioni che il Maunder trae dal suo studio sono le seguenti:

1. L'origine delle perturbazioni magnetiche terrestri è nel Sole. Il loro periodo è quello della rotazione *sinodica* (ritorno alla congiunzione col centro della Terra, ossia ritorno della stessa macchia al meridiano centrale del Sole), e non a quello della rotazione *siderea* (ritorno della stessa macchia alla congiunzione con la stessa stella).

2. Le aree solari che provocano i temporali magnetici sono ben definite, e girano come le zone delle macchie fra 10° e 30° di latitudine.

3. Le più forti perturbazioni magnetiche sono legate all'apparizione delle grandi macchie. L'attività magnetica di una data area può precedere la formazione di un gruppo importante di macchie e ad esso sopravvivere.

4. L'azione magnetica è limitata a fasci stretti, la cui larghezza media può dedursi dalla durata media dei temporali magnetici. Ultimamente si è potuto constatare un legame tra la variazione degli elementi magnetici e l'attività solare in un periodo di giorni $26\,^1/_3$; la rotazione siderale dedotta da queste variazioni sarebbe di giorni 24,55, ed infine le aurore boreali divengono estese, visibili a latitudine discoste dal polo quando l'attività del Sole aumenta; p. es. nel 1872 una bellissima aurora boreale si estese fino all'Italia, ed appunto in quel tempo verificavasi uno straordinario massimo di frequenza di macchie solari, il più alto che sia stato mai osservato dai tempi di Galileo in poi.

G. Abetti, direttore dell'Osservatorio di Arcetri, in un suo articolo sullo stato attuale dell'astrofisica [1] così riassume le ricerche sul magnetismo solare. La rotazione del Sole attorno al suo asse ed il fatto che campi magnetici si possono notare anche in zone prive di macchie, ha condotto Hale a scoprire, con la grande torre di M. Wilson, il campo magnetico generale del Sole, molto simile a quello della Terra, con i poli magnetici vicini ai poli di rotazione. Ma essendo tale campo molto debole, la scomposizione delle righe spettrali, che serve a determinarne le costanti, risulta così minuta da sfuggire quasi alla misura con i metodi ordinari del micrometro a filo; così che si dovette ideare un micrometro speciale a coincidenza di immagini. Si potè concludere che il campo magnetico generale è di intensità sufficiente a produrre l'effetto Zeeman visibile, in alcune linee del ferro, ma troppo debole ad alti livelli dell'atmosfera solare, per influenzare le righe che li rappresentano. Come nelle macchie solari (dove si è trovata una rapida diminuzione dell'intensità del campo, nel passaggio da bassi ad alti livelli), così in questo caso si deve essere in presenza di fenomeni a livello relativamente profondo nell'atmosfera del Sole. Con molte e precise misure fu possibile determinare la posizione dell'asse magnetico ed il suo periodo di rivoluzione attorno all'asse solare di rotazione. Il segno della polarità corrisponde a quello della Terra, cioè il polo magnetico nord del Sole, si trova vicino al polo di rotazione nord, e l'intensità del campo ha un'intensità dell'ordine da 20 a 30 gauss, cioè circa 40 volte maggiore di quello della Terra.

9. — **Radiazione solare.** — Per comprendere il valore dell'energia di cui il Sole fa ricca la Terra, richiamate dalla fisica alcune nozioni, e sono: 1° Si chiama *grande caloria* la quantità di calore necessaria per innalzare da 0° a 1° C (meglio da 15° a 16° C) un litro di acqua, e *piccola caloria* la quantità di calore richiesta per innalzare da 0° a 1° un centimetro cubo di acqua: — 2° Il ghiaccio è uno dei corpi che richiedono più calore per fondersi, ed un Kg. di ghiaccio a 0° per passare allo stato liquido assorbe 79 grandi calorie: — 3° L'unità dinamica più comune è il *cavallo-vapore,* (HP), che rappresenta l'energia capace di produrre 75 *chilogrammetri* per secondo ed eguaglia approssimativamente, nello spazio di 24 ore, il lavoro che potrebbe essere fornito da 5 dei nostri cavalli ordinari. — Supponete ora di esporre normalmente ai raggi solari una scatola d'argento (il metallo che meglio conduce il calore) a pareti sottili e coperte di nero fumo (il corpo che meglio assorbe

---

[1] « L'ingegneria », n. 8 del 1924.

il calore): riempite questa scatola di acqua, immergetevi un termometro, e notate di minuto in minuto il riscaldamento che l'acqua subisce, e voi avrete con ciò solo gli elementi necessari per dedurre il numero delle calorie che il Sole versa sulla Terra. Ripetete l'esperimento sopra le cime di alte montagne: essendo minore lo strato d'aria interposto, il vostro apparato vi darà là risultati più forti: confrontate tra di loro diversi di questi risultati, e voi potrete determinare la quantità di calore assorbita dall'atmosfera ed ottenere quindi

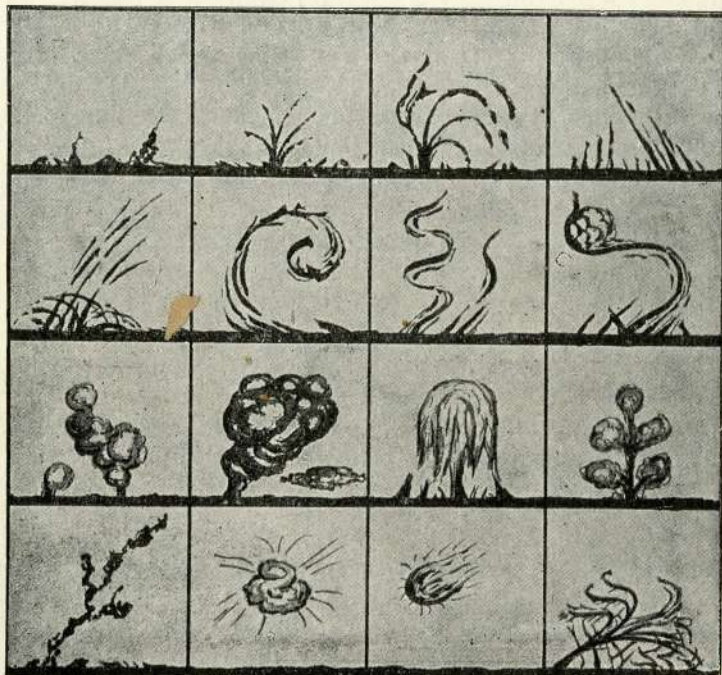



Fig. 71. — Tipi diversi di protuberanze solari.

il valore assoluto del calore solare che la superfice della Terra riceverebbe se fosse spoglia di atmosfera. *La quantità di calore ricevuta in un minuto da un centimetro quadrato di superfice terrestre esposta normalmente ai raggi solari* si chiama *costante solare* e si esprime in *piccole calorie.* — Le prime determinazioni fatte da Pouillet (1837-38) avevano assegnato a questa *costante* il valore di 1,76. Le determinazioni seguenti furono concordi nell'innalzare questo numero, e Violle lo portò a 2,54, Langley a 2,84.

In questi ultimi anni si sono intensificate le ricerche della costante solare in luoghi alti in regioni quasi sempre serene, come

in California, nel Cile, nell'Africa del sud, dove la grande trasparenza dell'aria permette numerosissime osservazioni. Si è concluso di prendere come valore della costante solare calorie 1,95 per minuto primo e per ogni centimetro quadrato di superfice. Durante i massimi dell'attività solare sembra che questa quantità aumenti del tre o quattro per cento, più che durante i minimi, perchè i grandi sconvolgimenti in cui si trovano i gas sul Sole, fanno sì che una maggiore quantità di calore venga emessa dagli strati interni alla superfice durante la sua cresciuta attività. Ma le osservazioni della radiazione solare mostrano che questa, oltre che alle variazioni del periodo undecennale, è soggetta a variazioni di corto periodo, che in pochi giorni la fanno aumentare o diminuire fino al cinque o sei per cento del suo valore.

Alla domanda: se il diametro solare subisca delle variazioni, il P. Secchi ed il P. Rosa furono i primi a dare una risposta positiva con la loro *legge Secchi-Rosa* [1], la quale afferma che a quelle epoche in cui il numero delle macchie e protuberanze è minore si trova un diametro maggiore. Hilfiker confermava questo risultato basandosi sopra trenta anni di osservazioni fatte all'Osservatorio di Neuchâtel: Auwers invece dava risposta negativa. Recentemente Ch. Lane ritornò sulla questione affermando l'esistenza di queste pulsazioni solari, e dalle osservazioni del R. Osservatorio del Campidoglio a Roma, dove si osserva quotidianamente il diametro del Sole, dal tempo del Respighi, Armellini deduce i risultati del primo *venticinquennio di osservazioni*, che sembrerebbero piuttosto favorevoli all'ipotesi delle pulsazioni. L'ampiezza della pulsazione sarebbe di pochi decimi di minuti di arco; il periodo undecennale è sfasato rispetto a quello delle macchie; nel senso cioè che il Sole raggiungerebbe la sua *massima ampiezza* (sarebbe per così dire *rigonfio*) due o tre anni *prima* del massimo delle macchie solari.

Alla radiazione termica dev'esser collegata una radiazione elettromagnetica e l'emissione di elettroni; non si son potute fare su queste radiazioni le numerose misure che ci hanno condotto a una buona determinazione della costante solare; ma si può pensare che esse pure abbiano un valore medio intorno a cui oscillano come fa la radiazione termica. Quali le conseguenze di queste radiazioni?

Il *valore medio* della radiazione termica si distribuisce variamente alle diverse latitudini: ecco p. es. le calorie che si possono raccogliere nei differenti mesi dell'anno, su un orizzonte che abbia la latitudine di Pisa.

---

[1] P. Rosa, *Studi intorno ai diametri solari*, Roma, 1874. R. Wolf, *Handbuch der Astronomie, Dritter Halbband*, pag. 434, Zürich, 1892.

MESE	CALORIE	MESE	CALORIE	MESE	CALORIE
Gennaio	9547	Maggio	29348	Settembre	20701
Febbraio	12308	Giugno	30605	Ottobre	15395
Marzo	20613	Luglio	30606	Novembre	10097
Aprile	24537	Agosto	26880	Dicembre	7336

Riferendosi alla fusione del ghiaccio si può dire che la radiazione solare, raccolta in un anno alla latitudine di Pisa, su un piano orizzontale, scioglierebbe uno strato di ghiaccio dello spessore di 30 metri circa.

La differente distribuzione delle calorie nei singoli giorni dell'anno è causa delle differenti stagioni e la diversa distribuzione a differenti latitudini è la causa dei climi tropicali, temperati ecc., peraltro le stagioni si ripetono periodicamente: altri fenomeni sovrapposti ai precedenti intervengono a perturbare la suaccennata periodicità.

Le oscillazioni della radiazione, attorno al suo valore medio, devono avere anch'esse la loro ripercussione sui fenomeni terrestri; ma, mentre gli effetti della radiazione termica *media* li conosciamo, per ora, meglio degli effetti delle radiazioni *ordinarie* elettro-magnetiche ed elettroniche, per le *oscillazioni* attorno ai valori medi avviene l'inverso, si conoscono meglio gli effetti prodotti sul magnetismo terrestre e sulle aurore boreali che non quelli sugli elementi del clima.

Il prof. Abetti nel discorso inaugurale tenuto all'Università degli studi di Firenze nell'anno scolastico 1926-27 così diceva:

« Le relazioni che possono esistere fra questi elementi (clima) e i fenomeni solari sono state e sono tuttavia oggetto di lunghe, complicate e numerose ricerche dalle quali, chi voglia trarre una conclusione, si trova di fronte a risultati non sicuri e talvolta contradittori. Pare accertato che gli elementi meteorici vanno soggetti a fluttuazioni periodiche, a veri e propri cicli, durante i quali si ripetono in linea generale, le stesse circostanze e gli stessi estremi; ma una diretta corrispondenza, col periodo undecennale del Sole, non si è mai potuto stabilire. È vero che detto periodo è riconoscibile in alcuni fattori meteorologici, ma in pochissimi casi le relazioni stabilite sono di qualche importanza pratica.

È molto difficile poter prevedere quale effetto può avere sul tempo di un dato luogo un aumento dell'attività solare, di solito si ammette che la temperatura debba salire in alcune aree e scendere in altre, ma anche questo può variare con le stagioni. La circolazione generale dell'atmosfera ne viene senza dubbio intensificata, ma quali cambiamenti questo fatto possa produrre, per esempio sulla distribuzione della pressione e della pioggia non si può pel momento concludere. Nemmeno è certo che un aumento della radiazione solare, raggiungendo la superfice della Terra, vi produca una radiazione maggiore, perchè l'alta atmosfera può in pari tempo divenire più opaca e quindi trasmetterne una minore quantità. Così, sebbene risulti con evidenza che le variazioni di temperatura della Terra debbono

dipendere da variazioni dell'attività del Sole, pure si dovrebbe concludere, che le variazioni della radiazione solare non sono la causa diretta di quelle degli elementi meteorici sulla Terra » [1].

A proposito di relazioni fra meteorologia terrestre e fenomeni dell'atmosfera solare il Deslandres scriveva: La nube brillante ch'è la fotosfera, circonda totalmente il Sole, mentre il mare di nubi terrestri non ricopre che una parte limitata dalla superfice. Di più le due atmosfere vengono studiate in condizioni molto differenti, che rendono difficile un paragone compiuto e preciso. L'osservatore ad un dato momento non scopre e non rileva che una porzione della nostra atmosfera, la quale, anche nel senso dell'altezza, è limitata vicino alla superfice. Del Sole invece l'osservatore abbraccia a colpo d'occhio l'atmosfera intera dell'emisfero rivolto alla Terra, così gli apparecchi di osservazione danno in pochi minuti un risultato d'insieme per i diversi strati. Quindi sotto certi rispetti, l'atmosfera solare può essere meglio conosciuta dell'atmosfera terrestre, e Faye pensa che lo studio del Sole possa fornire indicazioni utili alla meteorologia terrestre [2].

10. — **Temperatura del Sole.** — Sulla temperatura effettiva solare regnarono dapprima le opinioni più disparate, poi sembrarono gli astronomi trovarsi concordi sul valore di 10000 gradi, assegnato dal Rosetti, e dopo gli studi di Langley si credette che questo valore si dovesse ritenere come un *minimo*, piuttosto che come un *medio* (Witz). Dal valore assegnato dal Rosetti non si allontanarono che di quantità trascurabili quelli ottenuti da Le Chatelier (1892), da Wilson e Gray con quelli di Ebert (1895). Esporremo due dei metodi moderni che hanno condotto ad ammettere per la superfice solare una temperatura molto più bassa.

Abbiamo detto che la costante solare, indipendentemente dalle sue fluttuazioni è di piccole calorie 1,95: — questa è l'energia raccolta sulla Terra; quale l'energia sulla superfice solare? Siccome la distanza da noi al Sole è di 216 raggi solari ne segue che sulla sua superfice l'energia sarà 216^2 maggiore (per la legge delle proporzionalità inversa ai quadrati delle distanze) cioè $1{,}95 \times 216^2 = 90979{,}2$. — Intanto Stefan (Vienna 1879) trovò che, per un corpo il quale non assorbisca calorie nell'irradiarle, il quoziente fra le calorie emesse e la quarta potenza della sua temperatura assoluta è costantemente eguale a 768×10^{-13} quindi dividendo le calorie irradiate dal Sole cioè 90979,2 per 768×10^{-13} si ottiene la quarta potenza della sua temperatura assoluta, ed estraendo la radice quarta dal quoziente si ottiene un risultato di *poco inferiore a 6000*. Tale il metodo che potremmo chiamare della *radiazione complessiva;* ma si può determinare la temperatura solare anche con l'analisi della *radiazione dominante.*

---

(1) A proposito di relazioni fra meteorologia terrestre e fenomeni dell'atmosfera solare il Deslandres scriveva sull'*Ann. du B. des long* del 1907.

(2) *Ann. du B des long.* 1907.

Si esamini lo spettro solare e se ne esplori l'intensità nelle varie sue parti con l'ausilio del bolometro: si troverà che la radiazione dominante nel raggio solare corrisponde alla lunghezza d'onda di micron 0,4680, si applichi ora la legge del Wien (1), si divida 2930 per 0,4680 e si otterrà poco *più di 6000.*

Fig. 72. — Protuberanza solare di 260.000 km. di altezza (25 marzo 1895 a 10h 34m). (Da una fotografia dell'Osservatorio di Kenwood in Chicago).

Sicchè l'uno e l'altro metodo conducono ad ammettere per la superfice solare una temperatura di 6000 gradi.

Abbiamo veduto che ogni strato dell'atmosfera solare ha il suo spettro discernibile dagli altri, perciò si comprende come di ogni strato si possa determinare la radiazione dominante e quindi la temperatura. Così si è trovato che la temperatura delle macchie è di

(1) Vedi § 1, lett. *i* di questo capitolo.

circa 1000 gradi inferiore a quella della circostante fotosfera e questo è in relazione con la loro minore intensità luminosa.

11. — Come il Sole ripari alle sue perdite. — Abbiamo studiato in prevalenza l'energia termica del Sole; ma che cosa è questa

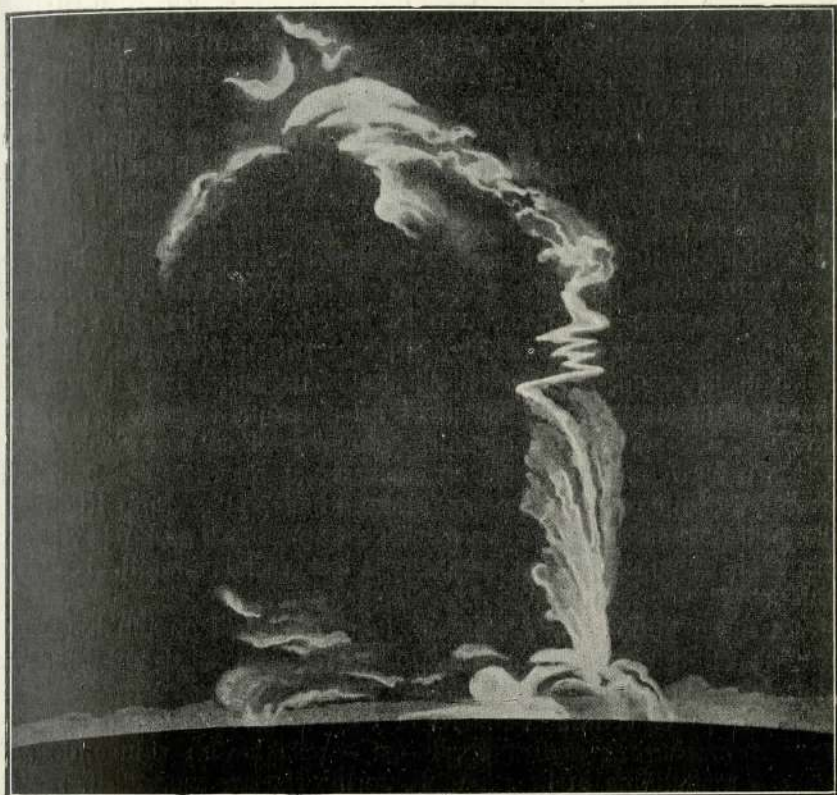



Fig. 73. — La medesima protuberanza della fig. 72, fotografata a 10h 58m. Essa raggiunge 452.000 km. di altezza.

se non la minima frazione della energia solare? Si resta oppressi, e la mente umana si perde quando pensa, anche per un solo istante, ai torrenti di energia e di vita che il Sole emana! Allorchè il Sole tramonta, fatevi almeno una volta la domanda: E se domani non rinascesse?..... e nella risposta desolante che vi darete e che d'altro non vi parlerà che di tenebre e di morte, troverete ben al vivo espresso quanto tutti dobbiamo al Sole.

Se tanta è la radiazione e quindi la perdita che il Sole patisce, come si ripara? Se fosse semplicemente un corpo incandescente o una massa di carbone in preda alle fiamme, in poche (da 5 a 8) migliaia d'anni si sarebbe raffreddato ed estinto: chi dunque al Sole rifornisce calore? Le prime cause riparatrici che furono invocate, si vollero affatto meccaniche ed esterne, e Newton le cercò nella caduta di meteoriti, Buffon nella caduta di comete, Mayer in quella di corpuscoli provenienti da distanza infinita, Thomson in quelle delle sostanze che danno la luce zodiacale. Tutte queste ipotesi hanno lati buoni, ma urtano insieme contro gravi difficoltà, non foss'altro contro quella di aumentare continuamente la massa solare e quindi di accrescere l'attrazione del centro e la velocità dei pianeti. Neppure fu accettata l'ipotesi del Siemens, che fa aspirare da vortici dei poli del Sole la materia degli spazi, che poi disperdesi all'equatore dopo le combinazioni; maggior fortuna trovò invece la teoria di Helmholtz, che tanto calore fa sprigionare solo colla progressiva condensazione del globo solare. Basta, secondo Helmholtz, che il diametro del Sole si contragga ogni anno di 75 metri (ossia di una quantità che solo dopo molti secoli sarà percettibile coi nostri strumenti) ed ogni perdita è compensata. Lord Kelvin (W. Thomson) dedusse da questa dottrina, che solo da 20 milioni d'anni il Sole dà luce e calore alla Terra, e Newcomb aggiunse che, scorsi dal presente altri 5 milioni d'anni, il diametro del Sole sarà ridotto a metà, e che dopo 10 milioni d'anni il Sole sarà impotente a mantenere sul nostro globo la vita che ora vi si svolge rigogliosa; ma anche la teoria di Helmholtz tramonta col progredire delle conquiste dell'astrofisica.

In questi ultimi anni, le nuove teorie sopra la costituzione della materia sembra che abbiano trovato una risposta assai soddisfacente alla domanda come il Sole ripari alle sue perdite.

Secondo le vedute moderne la materia sarebbe semplicemente *energia condensata* e disintegrandosi – vale a dire riducendosi in etere – metterebbe in libertà una enorme riserva energetica. Inoltre si ammette che la materia sia unica, e che gli atomi di tutti gli elementi siano composti di elettroni e di nuclei positivi, differendo tra essi soltanto per il numero e la disposizione degli elettroni e dei nuclei. Con queste vedute un corpo può trasformarsi in un altro con emissione o assorbimento di energia, p. es. quando l'idrogeno si trasforma in elio, quattro atomi di idrogeno, di cui ognuno è provvisto di un solo elettrone, danno origine ad un atomo di elio. Ma un atomo di idrogeno pesa 1,008, mentre un atomo di elio pesa 4,000. Nella trasformazione si ha quindi una perdita di peso, ossia di massa, uguale a 0,032; e questa massa perduta si trasforma in energia. Fatti i calcoli si trova che per *ogni grammo di idrogeno*

che si trasforma in elio si mettono in libertà 166 miliardi di calorie; e poichè ogni grammo di materia solare perde per irraggiamento 1,4 calorie all'anno, ne segue che *il Sole avrebbe una riserva sufficente per 113 miliardi di anni.* Basta paragonare questo risultato con i pochi milioni di anni a cui si arriva con le antiche teorie, per comprendere quale importanza abbia nell'astronomia moderna la dottrina energetica. Però anche con questa nuova teoria al Sole sono contati se non i giorni i secoli.

La massa solare si *trasforma* e si dilegua negli spazi. Che sono le righe di Fraunhofer se non le prime gramaglie che già si avanzano ad annunziare che si raffreddano gli strati più esterni della superfice solare? Passeranno i millenni, la *corona* avrà perduto i suoi raggi, le sue vampe la *cromosfera*, alla *fotosfera* succederà una fredda *litosfera*, agonizzerà il nostro mondo e l'angelo della morte, passando un istante su quest'isola dell'universo, ora teatro della vita, delle lotte, delle passioni di tanti esseri, vi scriverà con mano gelida la terribile parola: *Vixerunt.*

CAPITOLO VII.

Pianeti e satelliti

1. — Mercurio. — *Mercurio,* il pianeta più piccolo tra quelli conosciuti dagli antichi e il più vicino al Sole, è insieme uno dei più misteriosi. La massa di 0,061 (Terra=1), corrispondente a 1/5310000 della solare, gli venne assegnata da Le Verrier nel 1861 con la discussione delle perturbazioni di Venere. Tisserand prima, Backlund nel 1895, esaminando l'influenza di Mercurio sulla cometa di Encke, credettero di dover ridurre quella massa quasi ad una metà e farla solo di 1/9700000 della solare, mutando in tal caso profondamente anche i valori della *densità* e della *gravità* attribuiti al pianeta. Ad ogni modo la massa del pianeta si ritiene ora di 1/6000000 di quella del Sole, e di 0,056 di quella della Terra.

Della superfice di Mercurio poco si può dire. I suoi *passaggi* sul Sole e le sue *fasi* dimostrano che non ha luce propria. Che abbia atmosfera, l'hanno messo fuori di dubbio le osservazioni spettroscopiche, ed il Winder, dal passaggio del 10 maggio 1891, ha creduto di poter dedurre che l'involucro gassoso del pianeta è assai denso, alto non meno di 400 km. e ricco di vapor acqueo, e quindi con nubi e precipitazioni, come già aveva creduto di affermare anche il nostro Schiaparelli. La superfice del pianeta è cuprea, rotta qua e là da strisce leggermente oscure. Che cosa siano queste macchie, non si sa: se sono mari, come è permesso di congetturare, ci fanno allora pensare ad un mondo nel quale, all'opposto del nostro, sono sviluppatissime le masse continentali, ridotti assai gli oceani. I suoi passaggi ritornano ad intervalli di 13, 7, 10, 3, 10 e 3 anni. Gli ultimi quattro passaggi avvennero nel novembre 1907, nel novembre 1914, il 7 maggio 1924, il 10 novembre 1927. In questi

passaggi il pianeta si mostrò talvolta circondato da un'aureola (notata la prima volta da Plantade nel 1736), e talvolta anche con un punto brillante in prossimità del centro nella parte rivolta a noi (notato la prima volta da Wurzelbau nel 1697); da che dipendessero questi due fenomeni non si sapeva spiegare: forse dall'atmostera si poteva far dipendere il primo; ma il passaggio del novembre 1907, osservato da molti, ebbe l'importante risultato di stabilire con sicurezza che l'aureola e la macchia luminosa non sono reali.

All'Osservatorio di Lick, col grande rifrattore di 97 centimetri, si esaminò accuratamente il contorno del pianeta nel passaggio del '91 per vedere se vi si scoprivano satelliti: le ricerche non diedero che risultati negativi.

Fig. 74. — Mercurio, disegnato da Schiaparelli in Milano.

L'orbita di Mercurio (prescindendo dai *pianetini*) è la più allungata del sistema solare. Se in media difatti questo pianeta si trova a 57 milioni di chilometri dal Sole, al perielio può anche avvicinarsi a soli 45 milioni, ed all'afelio scostarsi sino a 69. Di qui una enorme variazione di distanza rispetto a noi: nelle congiunzioni inferiori può difatti venire a soli 81 milioni di km. dalla Terra, e nelle superiori allontanarsi persino a più di 222! Mercurio è di difficile osservazione, e non si incontra che la mattina o la sera, vicino al Sole.

La sua distanza visuale dal Sole misurata in gradi si chiama elongazione [1] e sembrerebbe che le migliori condizioni per essere veduto le presentasse quando si trova alla sua elongazione massima; invece è visibile a occhio nudo, più facilmente da 10 o 15 giorni *prima* della sua elongazione massima, se è astro della sera; si vede più facilmente da 10 a 15 giorni *dopo* tale elongazione, se è astro della mattina. Con un canocchiale avente l'obiettivo di 7-8 cent. di diametro se ne vedono nettamente le fasi. Fra le massime elongazioni sono eccellenti quelle che raggiungono i 26-28 gradi dal Sole. Sembra da relegarsi fra le leggende la notizia che Copernico non l'avesse mai visto di fra le nebbie della Vistola.

---

[1] V. Cap. V, § 2.

In seguito alle osservazioni di Schröter (1800) si era ritenuto che Mercurio compisse la sua rotazione in $24^h\ 5^m\ 28^s$; lo Schiaparelli, con una serie di 150 osservazioni iniziate nel 1882, sostenne invece (8 dicembre 1889) che in questo pianeta, come nella nostra Luna, il periodo di rotazione è identico a quello di rivoluzione, cioè di giorni 89,97 e quindi Mercurio rivolge sempre al Sole la medesima faccia; ma la cosa è ancora molto incerta. A differenza della Luna, Mercurio presenterebbe però assai forte la *librazione*, e della sua superfice stanno sempre rivolti al Sole solo 3/8, sempre nella notte i 3/8 opposti: i 2/8, che formano un anello tra quelle due calotte, alternano luce e tenebre secondo la corrispondenza più o meno perfetta tra l'angolo di rotazione e quello di rivoluzione.

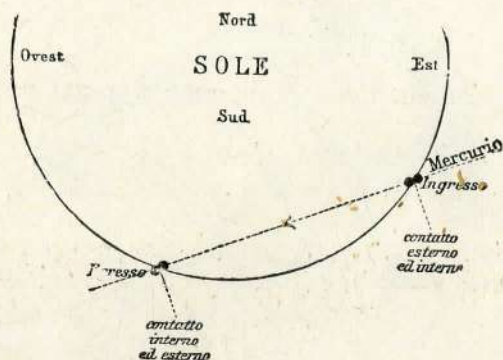



Fig. 75. — Un passaggio di Mercurio davanti al Sole.

Che mondo sarà adunque quello di Mercurio? Noi non ne possiamo dir nulla. Riceve luce e calore dal Sole sette volte più della Terra, ma con questo non possiamo dire che sia un astro bruciato: l'atmosfera con circolazione più rapida e con precipitazioni ed evaporazioni più abbondanti può tutto mitigare. Gli abitanti dell'emisfero esposto al Sole hanno luce perenne e forse ignorano l'esistenza delle stelle e di tutti gli altri pianeti: quelli dell'emisfero opposto forse ignorano il Sole e non hanno luce che da aurore polari, da pianeti, da stelle filanti:... e chissà, invece, che vie e mezzi di comunicazione e condizioni sociali più belle non permettano ai Mercuriali di alternare meglio di noi il godimento e lo studio di questi opposti spettacoli, e che lassù la vita abbia più gioie e meno dolori?

Alla distanza a cui gravita Mercurio, una superfice planetaria rivolta verso il Sole deve, secondo la legge di Stefan [1], raggiungere una temperatura vicina ai 200 gradi sopra zero; nell'estate poi deve essere di 240 gradi circa. Se le conclusioni di Schiaparelli sul periodo di rotazione del pianeta sono esatte, il calcolo indica che la temperatura può raggiungere i 400 gradi, sorpassando così il punto di fusione del bismuto e del piombo.

---

[1] V. Cap. VI, § 10.

I *movimenti* che Mercurio presenta, discordano alquanto dalle esigenze della teoria. Le Verrier, discutendo queste anomalie, credette spiegarle ammettendo, tra Mercurio ed il Sole, un altro pianeta che fu detto *Vulcano* e che alcuni (Lescarbault, Coumbary ed altri) asserirono di aver visto passare sul Sole. Cercato ripetutamente nelle eclissi di Sole, Vulcano non è però mai stato riscontrato, ed attualmente quindi si inclina a non accettarlo, ed anzi si preferisce surrogarlo con asteroidi circolanti secondo gli uni al di fuori, secondo gli altri al di dentro dell'orbita mercuriale. La questione intanto è affatto sospesa. È certa l'irregolarità di Mercurio, ma sulle sue cause nessuno ha mai preteso di avanzare altro che ipotesi e nulla più (1).

2. — Venere. — *Venere,* per rispetto al volume, è il pianeta che più si avvicina alla Terra. Ha un'orbita di pochissima eccentricità, e passando dalle congiunzioni inferiori alle superiori si porta da 42 a 256 milioni di chilometri di distanza da noi, variando quindi nella proporzione da 6 a 1 il suo diametro apparente. — Come Mercurio, *vagheggia il Sole or da coppa or da ciglio* (2), e fu dagli antichi creduto un astro doppio. Anche riconosciuto come un astro unico, mantenne però sempre due nomi distinti: quindi si chiama ancora *Lucifero* la mattina quando precede il Sole, *Espero* la sera quando lo segue.

Le sue elongazioni o digressioni massime angolari dal Sole possono giungere a 48°, e perciò può nelle nostre regioni tramontare fin quattro ore dopo il Sole, e levarsi altrettanto tempo prima di esso. Quando Venere si trova alla sua congiunzione inferiore (tra il Sole e noi) dovrebbe essere invisibile, mentre alcuni astronomi riuscirono a vederla sotto forma di macchia lattiginosa e fosforescente. Quale la causa? Probabilmente si tratta di un fenomeno analogo a quello che

---

(1) La teoria di Einstein sulla *relatività* dà spiegazione della irregolarità osservata ne movimento del perielio di Mercurio. Si sa dalla meccanica celeste classica, che il movimento di Mercurio è un movimento press'a poco ellittico con rotazione dell'asse maggiore, dovuta all'azione degli altri pianeti, segnatamente di Venere. Ora la teoria delle perturbazioni dà solamente per il perielio un avanzo di 532″ al secolo, mentre l'osservazione dà un avanzo di 574″. C'è dunque un residuo in eccesso di circa 42″; numero che sembra però non ancora ben precisato. Malgrado tutte le ipotesi fatte, non si potè ancora spiegare in maniera soddisfacente questo residuo. Einstein provò ad applicare la sua teoria a Mercurio, relativamente all'azione solare, niente essendo cambiato nell'azione dei pianeti. È notevole che, introducendo nella formola di Einstein, che dà la rotazione del perielio dei pianeti, i numeri relativi a Mercurio, si trovi 42″,9, appunto la differenza cercata (supponendola esatta). Si potrebbe dire che questo risultato è troppo soddisfacente, tanto sono le influenze incompletamente finora analizzate, che devono esercitarsi nelle vicinanze del Sole, e si dubita persino dagli stessi astronomi che lo hanno introdotto (ANGELITTI, in *Memorie della Società Astr. It.*, già degli Spettroscopisti, 1912, vol. II, n. 2), della reale consistenza del moto secolare attribuito al perielio di Mercurio.

(2) *Paradiso,* VIII, 12.

produce da noi le aurore boreali. Un mese prima e dopo la sua congiunzione inferiore Venere presenta un fine disco risplendentissimo. Il *massimo splendore* di Venere si ha quando la sua elongazione è di 45°, cioè 51 giorni prima della congiunzione inferiore. Le fasi sono visibilissime nei canocchiali di 50 millim. d'apertura; con quelli da 95 a 108 si possono scorgere nell'arco interno della falce delle dentellature.

Venere è la gemma del cielo, e non rare volte acquista tale vivezza di splendore da attrarre gli sguardi anche dei più profani, e farsi percepire ad occhio nudo anche in pieno giorno; di qui i nomi più vaghi e gli entusiasmi più vivi che ai popoli ed ai poeti ha sempre ispirato. Il suo splendore Venere lo deve alla vicinanza del Sole e insieme anche alla densità della sua atmosfera, che le consente di riflettere intensamente verso di noi i raggi solari. Appunto per la densità di questa atmosfera è difficile che il nostro occhio arrivi alla superficie solida del pianeta. Di solito noi ne vediamo tutto il disco bianco, lucente, uniforme: le macchie oscure, che più facilmente vi si presentano, avendo carattere fuggevole e forme variabili, fanno pensare a nuvole e non altro. L'albedine [1] di Venere si stima 0,92 mentre le albedini complessive sia di Mercurio, sia della Luna, sono computate 0,17.

Fig. 76. — Fasi e rapporti di grandezza di Venere: 1) in congiunzione superiore; 2) al massimo splendore; 3) al primo quarto; 4) poco dopo la congiunzione inferiore, con corna molto prolungate, disegnate da Barnard nel 1890.

Lo spettro di Venere è il più brillante di tutti gli spettri planetari, così che si potè identificare un gran numero delle sue righe con quelle di Fraunhofer; Secchi e Vogel verificarono visualmente l'identità delle righe; Huggins ne studiò la parte ultravioletta con la fotografia; Scheiner esaminò 300 righe tra F e H, e

---

[1] Cap. IV, § 1.

mostrò che esse erano identiche alle righe dello spettro solare, tanto come posizione che come intensità. Non vi sono righe d'assorbimento differenti dalle righe telluriche; ma queste, osservate prima dal P. Secchi, sembrano più fortemente marcate che nello spettro di Mercurio. Dalle osservazioni spettroscopiche si conchiuderebbe che Venere ha un'atmosfera della stessa natura di quella della Terra. Ma il fatto che le linee di assorbimento sono poco marcate darebbe a credere, o che l'atmosfera abbia uno spessore molto forte, o che il pianeta sia circondato non da un'atmosfera trasparente, ma da nubi, ciò che sarebbe pure indicato dalla difficoltà della determinazione della rotazione dell'astro e dal valore della sua albedine. Le nubi si troverebbero nella parte alta dell'atmosfera, così che i raggi da esse riflessi non attraverserebbero che un debole spessore di gas.

Che anche la superfice di Venere si presenti però alternata di monti e di valli, lo dimostrano diversi fatti: in primo luogo, la forma dentellata del circolo terminatore dell'ombra nelle sue fasi; in secondo luogo, alcune macchie nere persistenti che, ad intervalli, sono ricomparse costanti di posizione e di forma sul pianeta. Il primo di questi fatti richiama perfettamente quanto si osserva nelle fasi della Luna, e, per dimostrare l'esistenza di montagne su Venere, è dei più convincenti: il secondo pure è di alto valore, ma forse da alcuni venne condotto a sostenere deduzioni ancora immature. Queste macchie oscure sfumate, leggere si sono viste negli anni 1813; '71; '77; '84; '95 e si sono trovate più abbondanti presso il polo australe, che non presso il boreale. Che cosa sono? Il Brenner (1895) le assicura mari, e assicura che Venere è somigliantissima alla Terra, e che solo ne differisce per un cielo meno puro, simile a quello di Scozia nei giorni di nebbia: può darsi che Brenner abbia ragione, ma pochissimi sono ora gli astronomi che si credono autorizzati a seguirlo in queste idee. Di qui si veda qual valore sia da accordarsi all'asserzione di Schröter che affermava di 40 km. l'altezza delle montagne di Venere, ed anche alle mappe di Venere disegnate nel 1726-27 da Bianchini e nel 1895 dal medesimo Brenner, che distingueva lassù l'*Helvetia*, l'*Italia*, il *Mare Italicum*, il *Mare Britannicum*, ecc. Può darsi che questi astronomi abbiano detto vero, ma i documenti che finora possediamo non ci permettono ancora di dichiarare certe le loro dottrine. Alcuni osservatori videro anche due calotte bianche polari, a contorni indecisi, ed alcune striscie parallele oscure, simili a quelle che osservansi in Giove.

Rispetto a Venere, la questione che agita di più gli astronomi, è quella del periodo di rotazione. Bianchini (1728), Flaugergues (1796), Giacomo Cassini (1732), Schröter (1809), Palomba (1842), ritennero questo periodo di $23^h\ 21^m\ 22^s$: lo Schiaparelli (1890) distrugge questa tradizione ed invece asserisce che, come per Mercurio, anche per Venere il periodo di rotazione si confonde con quello di rivoluzione, che è di giorni 224, 700787. Le asserzioni di

Schiaparelli furono confermate da Perrotin (con la serie delle osservazioni del maggio 1890 comunicate all'Accademia di Parigi il 24 febbraio 1896), da Terby, e anche dalle fotografie raccolte il 28 novembre 1895 al Collegio Romano; ma ora molti mettono in dubbio la cosa. *Rabe,* da osservazioni fatte all'Osservatorio di Breslavia, ha trovato una durata di rotazione di circa 24 ore; ma più recentemente *Evershed* a Kodaikanal, con osservazioni spettroscopiche, non ha potuto determinare la durata di rotazione, anche impiegando un forte potere dispersivo. La rotazione di Venere resta quindi

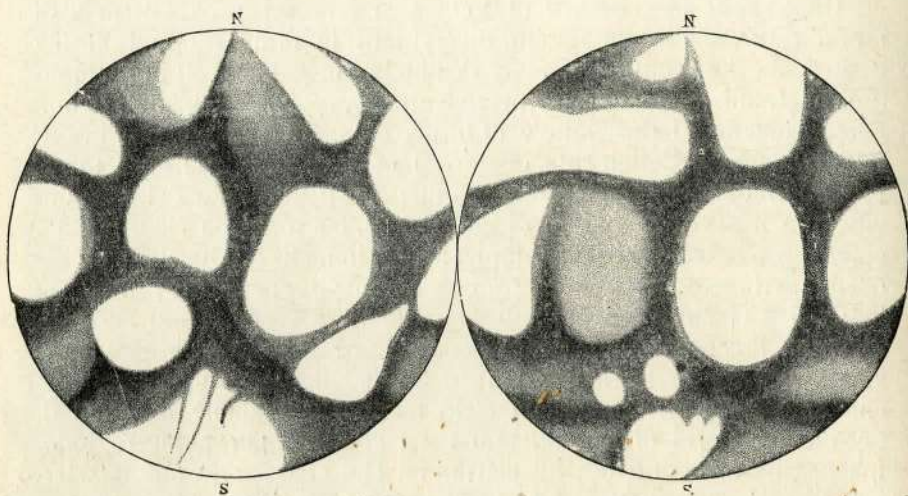



Fig. 77. — Carta di Venere secondo le osservazioni di L. Niesten in Bruxelles, eseguite negli anni 1881-1890.

fino ad oggi un mistero. Le osservazioni di Schiaparelli correggono anche un'altra asserzione. Si riteneva difatti che l'equatore di Venere facesse un angolo di 75° col piano dell'orbita, e che quindi la zona torrida vi raggiungesse l'enorme larghezza di 150°: secondo il più volte citato Schiaparelli invece (e lo conferma il Perrotin), l'asse di rotazione di Venere è quasi perpendicolare al piano dell'orbita e la zona torrida è dunque lassù ristretta a confini assai brevi.

In Venere, più volte (1721, '39, '59, 1806, '25, ecc. e 1895), si è notata la *luce secondaria* analoga alla *luce cinerea* della Luna e che permette di vedere intero il disco, anche durante le fasi. Per la spiegazione del fenomeno non si può più qui invocare, come per la Luna, una riflessione di luce da parte degli altri astri: comunemente

si inclina quindi ad attribuirla a forti rifrazioni di un'atmosfera densa il doppio della nostra ed anche all'influenza della materia che dà la luce zodiacale. Più precisamente Harding e Bessel, ed anche Schiaparelli, la considerano come un fenomeno analogo a quelli che producono da noi le aurore polari. Sulla terra il fenomeno è localizzato nelle fredde regioni. In Venere (ammesso il periodo di rotazione identico a quello di rivoluzione) la regione fredda è un emisfero intero, ed in quello saranno dunque colossali le manifestazioni aurorali, che si renderanno visibili nell'alta atmosfera del pianeta.

Più volte gli astronomi hanno anche parlato di uno o due satelliti intorno a Venere, e da Fontana (1645) a Stuyvaert (1884) sono diversi gli osservatori che asseriscono di averli percepiti. L'esame dei contorni di Venere durante i passaggi non ha però mai confermata l'esistenza di questo o di questi satelliti; e, per non ammettere errore in osservatori di indiscutibile valore, qualcuno ultimamente ha emessa l'ipotesi — forse essersi preso come legato a Venere qualche asteroide, che si muove intorno al Sole entro l'orbita di Mercurio, o entro quella di Giove.

Potremmo anche qui farci la domanda: quale sarà il mondo di Venere? — Ma è inutile che tentiamo di dare una risposta, perchè anche qui non faremmo che vagare nel fantastico: solo notiamo che, per gli abitanti di Venere, l'astro più brillante del cielo, fatta eccezione del Sole, sarà la nostra Terra, che essi, ad occhio nudo, percepiranno accompagnata dalla Luna. Ad ogni 584 giorni, l'avranno in opposizione e forse la metteranno a profitto, come noi Marte, per misurare la distanza dal Sole, ne studieranno l'atmosfera, le calotte dei ghiacci polari. — Quando la Terra è in opposizione per Venere, Venere è in congiunzione per la Terra: se Venere e Terra si movessero in un medesimo piano, noi avremmo adunque un *passaggio* ad ogni periodo di 584 giorni: invece, perchè l'orbita di Venere è inclinata di 3°23′ sull'eclittica, questi passaggi non avvengono che in giugno o dicembre con periodi alternati di anni 8 e 121 1/2, e poi 8 e 105 1/2. Gli ultimi passaggi si sono avuti nel 1874 e nel 1882: i primi non avverranno che nel 2004 (8 giugno) e nel 2012 (6 giugno). Il nostro secolo non avrà dunque passaggi di Venere, e non li avrà neppure il 2500-2600.

3. — **Marte.** — *Marte* - non per il suo volume, ma per le sue condizioni fisiche - rassomiglia più d'ogni altro pianeta al nostro globo, e giustamente è stato detto per questo la *Terra del cielo*. La durata della sua rotazione è di poco superiore a quella della Terra, l'orbita debolmente inclinata sull'eclittica, e la gravità infima tra i pianeti maggiori. L'anno di Marte ne dura quasi due dei nostri, e si divide

in quattro stagioni fortemente disuguali, constando, nell'emisfero boreale, di giorni 199 la primavera, 182 l'estate, 146 l'autunno, 160 l'inverno. Ad ogni periodo di circa 780 giorni Marte si incontra in opposizione, ed allora, avvicinandosi alla Terra, risplende bello e si presta ad essere studiato. L'eccentricità della sua orbita, dopo quella di Mercurio, è la più forte del nostro sistema e ha avuto il merito di rivelare a Kepler le leggi dei cieli. Marte non si avvicina sempre egualmente alla Terra in tutte le opposizioni: il massimo avvicinamento l'ottiene solo quando la Terra lo incontra al suo perielio, ossia in quelle che furono dette le *grandi opposizioni,* e che ricorrono a intervalli alternati di 15 e di 17 anni. Nelle grandi opposizioni del 2 settembre 1877 e del 6 agosto 1892, Marte discese a circa 57 milioni di km. da noi.

Fig. 73. — Carta generale del pianeta Marte secondo Schiaparelli (1882-88).

Nel 1924 si ebbe un'opposizione il 23 agosto con una distanza di 56 milioni di chilometri: il pianeta si vedeva sotto un angolo di 25",1. La combinazione di cinque dei suddetti periodi ne dà uno di 79 anni, che riporta le opposizioni di Marte alle stesse date, alle stesse distanze, alle stesse intensità luminose e agli stessi punti del cielo.

Nelle cognizioni poi si allontana persino a 407 milioni di km. e più! Di qui è facile comprendere la grande variabilità di splendore che l'astro dovrà presentare. Nelle grandi opposizioni il suo diametro apparente può persino toccare i 30″, ed un canocchiale che ingrandisca 70 volte lo può allora presentare grande come la Luna ad occhio nudo! Nelle congiunzioni invece discende a dimensioni trascurabili [1].

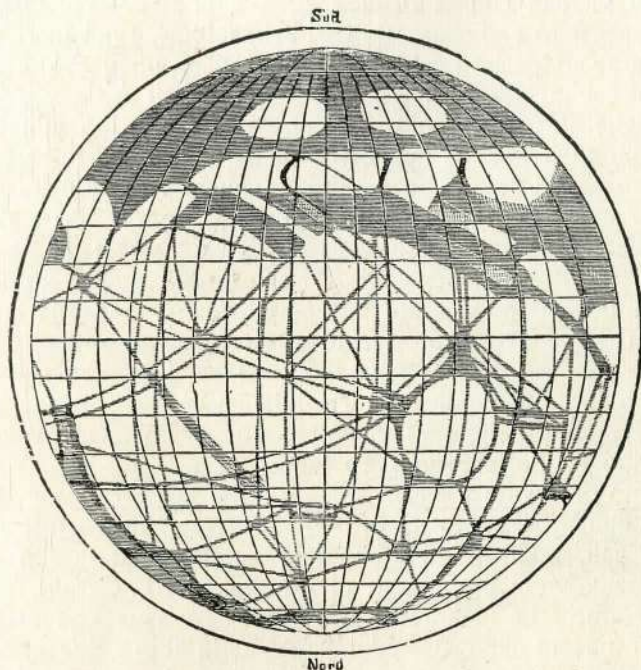



Fig. 79. — La geminazione dei canali di Marte.

Marte è caratteristico e facilmente distinguibile per la sua luce rossastra, che Dante [2] attribuiva ai *grossi* (densi) *vapori.* Esaminato con buoni strumenti subito fa comprendere che questa luce rossa (rosso-mattone vario) è dovuta ad alcune aree relativamente costanti della sua superfice, tra le quali se ne insinuano altre minori

[1] Secondo i calcoli e le osservazioni di G. Müller la massima intensità luminosa di Marte sta alla minima osservabile fuori del crepuscolo nel rapporto di circa 63 ad 1, mentre tale rapporto è per Mercurio soltanto di 2,3 ad 1, per Venere di 2,6 ad 1, per Giove di 2,5 ad 1 e per Saturno (comprese le variazioni dovute alla diversa posizione dell'anello di 6 ad 1. (Schiaparelli, p. 31). Nei massimi di luminosità può Marte, come Giove e Venere, produrre un'ombra distinta (p. 32).

[2] *Parg.* II, 14.

di colore grigio-scuro: le prime diconsi *terre,* le seconde *mari.* A differenza della Terra, in Marte i mari (se tali sono veramente) sono poco sviluppati e non occupano che un terzo circa della superfice. Dividete Marte in quattro quadranti con l'equatore e con un circolo passante per i poli: immaginate che su tre di questi quadranti si distendano le terre, e che uno, a sud, sia occupato da un oceano *(Mare Australe),* e voi vi sarete formato un primo abbozzo del pianeta che ci occupa. Qua e là nelle aree continentali si insinuano però e si allargano altri mari minori, e nei mari sorgono isole o forse arcipelaghi estesi: quei mari, pare, poco profondi, sono tutti comunicanti fra loro per mezzo di canali (*se sono in realtà canali* quelle linee rette o quasi, che veggonsi disseminate come una rete su tutta la superfice del pianeta), lunghi da mille a cinque mila km. e larghi anche un centinaio, che in date epoche si sdoppiano in corsi paralleli, distanti l'uno dall'altro da 100 a 600 km., presentando il fenomeno misterioso della *geminazione:* allo squagliarsi delle nevi questi canali dovranno farsi turgidi e con ampie inondazioni ingombreranno anche terreni e bassifondi prima lasciati in asciutto. Dipingetevi tutto questo nella mente, riandando quanto sono e fanno da noi la Manica, il Zuidersee, i torrenti alpini, e voi avrete dato forme più complete e regolari alla vostra prima idea del mondo di Marte, e imparato anche a conoscere alcune delle scoperte che formano la gloria del nostro Schiaparelli.

È sogno di fervide fantasie romanzesche la descrizione di esseri umani di una intelligenza superiore, che avrebbero costruito questa rete di canali, i cui punti d'incrocio sarebbero, secondo Lowell, città cinquanta volte più grandi di Londra. Il Prof. Cerulli, fondatore dell'Osservatorio di Collurania a Teramo, pensava che le linee di Marte non fossero che grossolani allineamenti di macchie eterogenee, sparse molto a caso lungo certe direzioni: la loro uniformità e dirittura, anzi il medesimo loro sdoppiamento, non sarebbero che illusioni ottiche prodotte dalla costruzione del nostro occhio, il quale cerca di integrare i piccolissimi e minuti dettagli posti al limite di visibilità.

L'opinione del Cerulli fu confermata dall'astronomo Kühl, il quale spiega l'illusione ottica dei canali per mezzo di contrasto delle regioni vicine e di sfumatura un po' diversa. Il Kühl riuscì a costruire modelli che riproducono l'illusione di canali.

Svante Arrhenius ha avanzato l'ipotesi che i canali di Marte abbiano esistenza reale, senza però esser dovuti a creature intelligenti, come supponeva il *Lowell.*

Si tratterebbe di enormi spaccature nella corteccia marziana, dovute al progressivo raffreddamento e quindi alla contrazione della

corteccia stessa. Queste spaccature sarebbero *ricche* di *sali igrometrici,* che al contatto del vapore acqueo contenuto nell'atmosfera del pianeta, cambierebbero colore rendendo così più visibile la spaccatura stessa.

Questa teoria dello scienziato scandinavo, spiega molti fatti che sarebbe più difficile e forse impossibile di intendere in altro modo. Per esempio Schiaparelli racconta che egli osservò più volte la terra Aeria, senza scorgervi un solo canale, mentre pochi giorni dopo, nella terra stessa, potè scorgere dei canali visibili a colpo d'occhio. Analogamente Lowell, dopo molte osservazioni, è venuto alla conclusione, che i canali divengono più visibili quando si sciolgono i ghiacci delle calotte polari, l'atmosfera del pianeta si carica di umidità.

Fig. 80. — G. V. Schiaparelli.

Ciò non toglie che queste spaccature naturali del pianeta possano essere qua e là interrotte, e che l'occhio, per un processo di integrazione fisiologico, colmi le lacune mostrandole come una linea unita; precisamente come una riga di un libro stampato vista di lontano, appare come un tutto unito, benchè in realtà sia composta di tante lettere separate.

Ma occorre distinguere nettamente le varie teorie.

Nella teoria ottica, sostenuta dal Cerulli, le macchie sono sparse a caso; in quella di Arrhenius si trovano invece allineate lungo una spaccatura e l'occhio non fa che colmare le eventuali mancanze.

Farà meravigliare la espressione dello *squagliarsi delle nevi.* Eppure sui poli di Marte si vedono due calotte bianche, che alternativamente si restringono e si allargano con l'alternarsi dell'estate e dell'inverno sui due emisferi: quella del polo australe, ad es., nel 1894 aveva un'estensione di 3096 km. il 24 maggio, e decresceva a 1800 il 1° agosto, a 660 il 27 settembre, a 108 l'11 novembre: come spiegarlo? Varie rassomiglianze ci inducono a ritenerle simili ai nostri ghiacci e alle nostre nevi polari! — S'aggiunga questo fatto. Il Pickering, nella notte del 9 aprile 1890, prendeva 7 fotografie di

Marte ed altrettante ne raccoglieva nella notte del 10. Le prime fotografie davano netti i contorni delle aree continentali, che alla mattina del 10 si presentavano invece incerti e come attraverso ad una densa nebbia: nella notte seguente i contorni della superfice ritornavano belli e definiti, ma sopra di essi si estendeva uno strato bianco di larghissima estensione, che nelle prime fotografie non era rappresentato. Osserva il Pickering che basta esaminare le fotografie per essere in grado di distribuirle subito nel loro ordine cronologico: esse testimoniano con troppa evidenza, un'atmosfera prima serena, poi ingombra di nevi, poi di nuovo serena dopo l'abbondante precipitazione sul pianeta, e ci assicurano quindi la data di una nevicata in Marte presso il polo Sud, che stava per uscire dal suo inverno.

Queste variazioni nell'atmosfera di Marte sembrano succedersi con una legge. In generale, dei pianeti noi conosciamo l'alta atmosfera, i cui cambiamenti ci portano a pensare con ardite induzioni a quello che avverrà sulla superfice solida del pianeta. Il professor Magrini, attuale direttore dell'Osservatorio di Collurania, così concludeva una sua Nota [1] a proposito del pallore anormale da lui osservato nelle macchie di Marte durante la opposizione del 1922: « La decolorazione generale delle macchie di Marte è stata veduta, oltrechè nel 1909, anche in altre opposizioni, però solo in maniera passeggera. Già il nostro Schiaparelli, durante la sua lunga serie di studi aereografici, aveva potuto constatare varie volte che il disco del pianeta si presentava senza contrasti e come ricoperto da un velo giallo oro; ciò durava due o tre giorni al massimo. Un'altra volta il fenomeno fu rilevato nel 1896 da Patscot Jubert a S. Felice di Guiscals. La poca conoscenza che abbiamo sulla natura delle macchie di Marte e sui fattori che contribuiscono alla divisione loro, ci impedisce di formulare qualsiasi ipotesi sull'origine di questi scoloramenti passeggeri; solo rileveremo che attualmente Marte occupa all'incirca la stessa posizione della sua orbita che occupava nei mesi di maggio e giugno 1909 » (quando l'altra volta presentò il pallore nelle macchie)... « Chi ancora avesse vaghezza di spiegare questi fenomeni con le vicissitudini meteorologiche di Marte, potrebbe aggiungere che in ambedue questi anni l'emisfero australe del pianeta era intorno al suo equinozio di primavera ».

Lo spettro di Marte non ci ha rivelato ancora la quantità esatta dei vapori di acqua nell'atmosfera di questo pianeta. Il Campbell la stima meno di $^1/_5$ di quella sopra l'Osservatorio di Lick, mentre il Very a Flagstaff la trova un po' più alta.

---

[1] Accademia dei Lincei, luglio 1922.

S'intende che senza conoscere la temperatura sulla superfice del pianeta non si può ben giudicare delle condizioni meteorologiche. La grande prossimità di Marte alla Terra, nell'anno 1924, presentò la possibilità di misurare la temperatura per mezzo di una cella termoelettrica. Tale cella è composta da due metalli diversi come Platino e Iridio, e trasforma i raggi di calore in corrente elettrica. In questo modo il Coblentz ha trovato la temperatura media di Marte eguale a —14° (Celsius). Nelle regioni equatoriali, più lucenti, la temperatura oscillava fra —10° e +5°, nelle aree più scure fra +10° e +20°. Al margine del disco, dove nasce il Sole, la misura dava —45°, al margine del tramonto 0°. Il polo Nord, involto nella sua

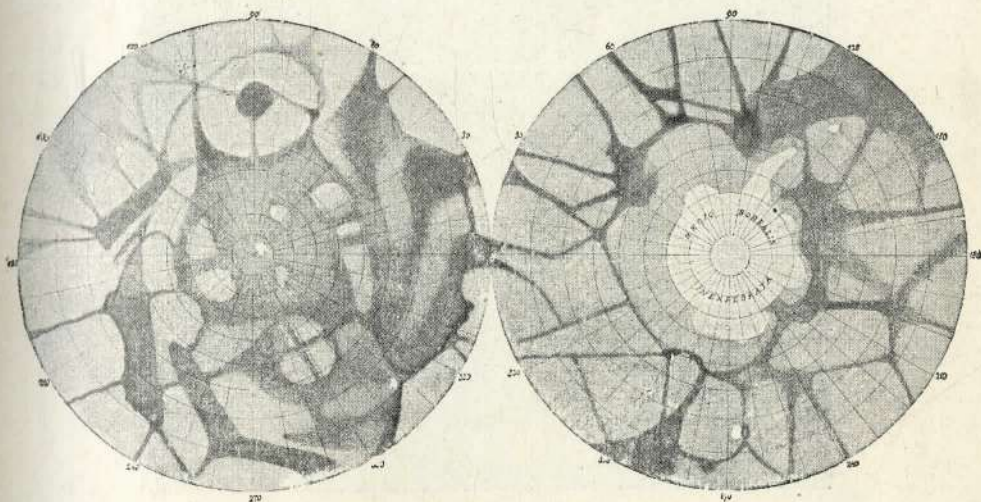



Fig. 81. — Vedute polari di Marte durante l'opposizione del 1879, disegnate da G. Schiaparelli.

notte invernale, mostrava —70°, temperatura più bassa di quella che fu mai trovata sui poli terrestri. Dalle regioni più scure e più calde, le quali, secondo le congetture del Coblentz, sono coperte di vegetazione, trarranno profitto i Marziali, come si servono gli abitanti della Terra delle regioni tropicali.

Nella suddetta grande opposizione di Marte (agosto 1924) furono intraprese osservazioni per misurare l'altezza della sua atmosfera. A tale scopo, si eseguirono fotografie del pianeta, sia con un filtro rosso, in modo da escludere la luce diffusa nell'atmosfera marziana, sia con un filtro azzurro, in modo cioè da tener conto dell'atmosfera stessa. Dal confronto delle fotografie così ottenute, è risultato che l'atmosfera di Marte ha l'altezza di circa un centinaio di chilometri.

E se abitanti ha Marte, gli spettacoli più belli li devono rallegrare. Prescindiamo dai fenomeni geologici, come dal sorgere e dallo scomparire di isole che alcuni degli astronomi nostri credono di avervi osservato, ma che pure ci restano problematici ancora; prescindiamo dagli splendori e dalle fasi della nostra Terra di cui i Marziali studieranno anche i passaggi sul Sole: arrestiamoci invece solo allo spettacolo delle loro Lune. Ne hanno due, *Deimo* e *Fobo*, vicinissime, la prima a soli 9500 km., la seconda a 23700 dal centro del pianeta; Lune che li rallegrano di fasi, di eclissi, di lievi influenze.

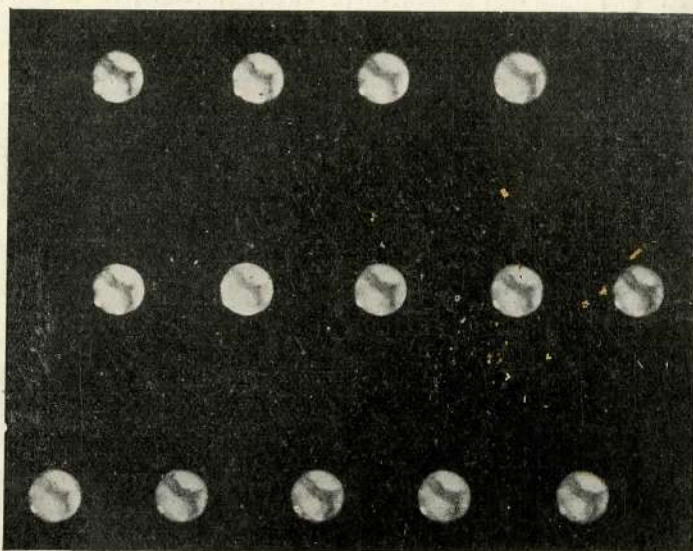



Fig. 82. — Marte fotografato dal Barnard col rifrattore Yerkes di 40 poll. (Monthly Not. 71, Pl. 10).

Deimo non ha che il diametro di km. 10 circa; Fobo da 20 a 30: sono dunque due pallottole, a dir la verità, e non due astri, e se cadessero nei nostri oceani, almeno nelle massime profondità, vi resterebbero quasi sommerse: se per i Marziali sono belle, è perchè son vicine. Il meglio è che lassù i due satelliti possono fino a un certo punto sostituire gli orologi! Deimo compie una rivoluzione in $7^h\ 39^m\ 15^s$; Fobo in $30^h\ 17^m\ 54^s$: nascendo in *occidente*, Deimo passa dunque più di tre volte al giorno per tutte le fasi, Fobo quasi ogni giorno: davvero che se si vogliono studiare occultazioni e movimenti orbitali, là tutto è preparato quanto un astronomo potrebbe mai desiderare!

I satelliti di Marte furono scoperti da Asaph Hall nell'agosto (11 e 17) 1877, e vennero a colmare una lacuna che si sentiva (da Kepler e da altri) nel nostro sistema: presentarono però subito un problema nuovo agli astronomi colla loro enorme velocità. Ci offrono difatti il caso singolare di satelliti che compiono la loro rivoluzione in un

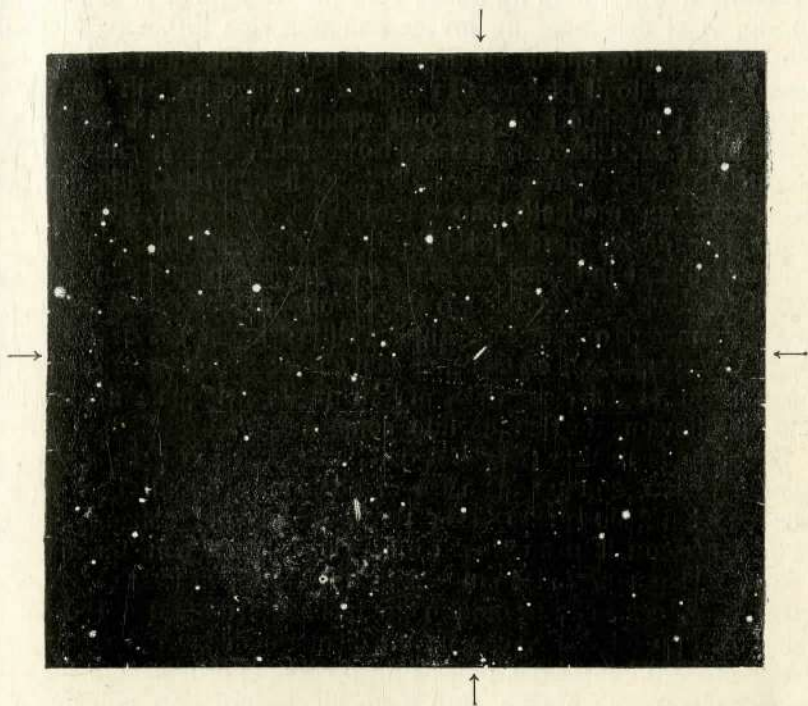



Fig. 83. — Il Planetoide (329) *Svea*, scoperto fotograficamente da Max Wolf in Heidelberg, il 21 marzo 1892.

tempo minore o di poco superiore a quello nel quale il pianeta che li domina compie una rotazione sul suo asse (v. le discussioni di Roche, Kirchwood, ecc.), e la teoria di Laplace sembra impotente a darne la ragione.

4. — **I pianetini.** — Nella zona compresa fra Marte e Giove si trovano disseminati i Pianetini o Asteroidi. Se ne conoscevano 417 all'8 ottobre 1896: in seguito il loro numero aumentò ancora, e attualmente ascende ad un migliaio. Prima, per iscoprire

questi pianetini, se ne attendeva il passaggio ai nodi: dal 28 novembre 1891, dietro iniziativa di Max Wolf, la ricerca si fa colla fotografia. Esponete una lastra sensibile nello *chassis* di un equatoriale fotografico che si muova concorde con il cielo: in due o tre ore le stelle vi si disegneranno con un punto e i pianetini che per avventura si troveranno fra quelle stelle, perchè dotati di movimento proprio, vi si disegneranno invece con una riga (fig. 83). Wolf da solo ha scoperto più di 30 pianetini: li ha visti sulla lastra senza essersi procurato il piacere di riconoscerli sul cielo con un canocchiale! Tra i cacciatori di asteroidi vanno poi ricordati Palisa, che ne scopriva 83, Charlois, che ne trovava 84, Peters, che ne dava 47, poi Gasparis, Watson, Borrelly..... e il pittore Goldschmidt, il quale, con un modestissimo canocchiale, dalla finestra del suo studio ne scopriva pure altri 14!

I pianetini si indicano *con un nome proprio,* o mutuato dalla mitologia (*Cerere, Pallade,* ecc.), o da astronomi (per es. *Dembowska*), o da personaggi o città, ecc. giudicati illustri (per es. *Emma Baptistona, Chicago,* ecc.), ed insieme *con un numero progressivo* basato non sul giorno della scoperta, ma su quello nel quale il pianeta è stato definitivamente riconosciuto come nuovo.

Secondo le misure (1893-94) del Barnard, il più grande dei pianetini è *Cerere,* con un diametro di 964 km. e quindi con un volume che è 1/2200 quello della Terra. A notevole distanza stanno poi *Pallade* con il diametro di km. 439, e *Vesta* con un diametro di km. 381: più piccoli sono poi tutti gli altri, *Giunone, Igea, Eunomia, Ebe,* ecc., che scendono gradatamente da 200 a 150 km. di diametro, fino ad *Estia,* che ha un diametro di km. 26 ed una superfice di 2000 kmq. circa, press'a poco come la provincia di Venezia, ed altri più piccoli ancora, fino a quelli che noi non abbiamo mai visti, appunto perchè veri granelli di polvere, impercettibili nei cieli! Le Verrier (1853) ha dimostrato che tutti i pianetini, noti ed ignoti, riuniti insieme, non possono essere più di 1/4 della massa terrestre: se lo fossero, si sarebbero già da tempo sentiti nelle perturbazioni del sistema; anzi alcuni riducono la loro massa complessiva ad eguagliare al più quella della Luna. — I più grandi paiono stelle di 7ª grandezza e talvolta (*Vesta*) possono essere percepiti anche ad occhio nudo: la maggior parte però di questi infusorii del cielo discende alla 10ª, alla 12ª ed anche alla 14ª grandezza.

Gli Asteroidi hanno prestato buon servigio agli astronomi per i calcoli delle perturbazioni e della parallasse solare, ed anche per le determinazioni fotometriche: li hanno però obbligati ad un tal cumulo di operazioni matematiche che incute spavento. A ragione questi

corpi sono stati chiamati i monelli del sistema solare: impertinenti oltre ogni credere, con orbite le più disparate per eccentricità ed inclinazione, hanno l'aria davvero di volersi scapricciare scorrazzando per ogni angolo di casa. Con la legge di Bode si avrebbe: la Terra alla distanza 10, Marte a 15,2, i pianetini a 28, Giove a 52: ebbene, il pianetino Adalberta (scoperto dal Wolf nel marzo 1892) non si trova che alla distanza 20,89; invece il 279, scoperto da Palisa nell'ottobre del 1888 e detto *Thule* si trova addirittura a 42,62; il che vuol dire che gli Asteroidi sono distribuiti nel piano planetario sopra di una zona larga più del doppio (320 milioni di km.) della distanza della Terra dal Sole! *Thule* non è lontano da Giove che 150 milioni di km. ed impiega a compiere la sua rivoluzione 3213 giorni e 3 ore: il 330 non è lontano che 75 milioni circa da Marte e nelle sue rivoluzioni impiega soltanto 1103 giorni e 3 ore! — In questa fascia immensa gli Asteroidi non sono però distribuiti uniformemente: vi si trovano suddivisi almeno in tre famiglie, l'una tra 23,5 e 24,5 di distanza, l'altra tra 25,5 e 28, la terza tra 30,5 e 32,0, divise da vere lacune, corrispondenti (si noti bene) in generale a distanze nelle quali i periodi di rivoluzione sarebbero prossimamente commensurabili con quello di Giove. È deserta, per es., la distanza 32,77, ed il Kirckwood ha notato che un pianetino ivi collocato, avrebbe un periodo di rivoluzione che durerebbe metà di quello di Giove, e a piccoli intervalli si troverebbe quindi ricondotto sotto l'azione di quel colosso, che, a breve scadenza, con forti perturbazioni, lo spingerebbe a pellegrinare per plaghe diverse. — Notevoli anche le eccentricità e le inclinazioni delle orbite: *Siri* (332) ha l'eccentricità di 0,376; *Eva* (164) quella di 0,347; *Istria* (183) quella di 0,3469; ed un'altra diecina ancora tocca pure il valore di 0,3; e, rispetto alle inclinazioni, mentre molte di queste orbite passano i 20°, quella di *Pallade* tocca addirittura il valore enorme di 34° 41′ 23″ che lo fa uscire fortemente dalla fascia zodiacale e sulle prime indusse Olbers (28 marzo 1802) a crederla una cometa.

I pianetini non sono tutti per tutta la loro orbita tra Marte e Giove. *Eros* e *Alberto* hanno orbite sì eccentriche che al perielio penetrano sull'orbita di Marte; ed altri quattro invece, Achille, Patroclo, Ettore e Nestore, al loro afelio, passano fino al di là di quella di Giove.

Notevolissimo il pianetino *Eros* (433), scoperto da Witt all'Osservatorio Urania di Berlino il 13 agosto 1898. Esso non appartiene alla famiglia dei pianetini tra Marte e Giove, poichè la maggior parte della sua orbita trovasi dentro l'orbita di Marte, in modo che si avvicina alla Terra più di qualunque altro pianeta, a 19 milioni di km.; quasi più del doppio di Venere all'epoca dei suoi passaggi sul Sole. Perciò il pianetino si presta molto per una determinazione precisa della parallasse solare come vedemmo alla fine del capitolo V.

Gli elementi calcolati dal Millosevich (Collegio Romano), sono:

Rivoluzione siderale		g. 643, h. 3,22
Distanza media dal Sole (Terra=1)		1,4581
» massima	»	1,7832
» minima	»	1,1331
Eccentricità dell'orbita	$= e =$	0,22291
Inclinazione dell'orbita	$= i =$	10° 49′ 39″
Movimento medio diurno	$= \mu =$	2015″, 1274
Longit. del nodo ascend.	$= \Omega =$	303° 30′ 40″, 4
Longitudine del perielio	$= \omega =$	127° 38′ 41″, 6

Al tempo delle opposizioni perieliche è così vicino al Sole che il suo moto apparente rimane diretto. La sua luce è variabile in misura notevole; forse Eros non è un globo perfetto, ma un corpo irregolare, con varie faccie riflettenti, il quale compie una rotazione in 2 ore e 22 minuti. Il professor Seeliger (1) trova questa ipotesi più consentanea alla specie di orbita che *Eros* descrive, la quale sembra il risultato di una collisione dello stesso con un altro asteroide. Il 3 gennaio 1918 venne scoperto un altro pianetino, il quale al suo perielio si avvicina alla Terra più di Eros, e fu chiamato *Alinda.*

Sono rotondi i pianetini? Se ne dubitò un istante osservando i cambiamenti rapidi della loro luce: da alcuni si ritiene che sieno in generale rotondi, e i cambiamenti di luce si attribuiscono o a fenomeni evolutivi, o, meglio, ad ineguaglianze della superfice. — Hanno atmosfera? Per qualcuno lo si suppone. — Hanno rotazione? Lo si può pensare, e per alcuni qualche fatto sembra testimoniarlo. — Notevoli, sulle condizioni fisiche dei pianetini, gli studi di Parkhurst (1887), che per altro lasciano ancora troppo incerte le risposte ai diversi problemi.

Donde i pianetini? Olbers, scoperti i primi tre, emise l'ipotesi che fossero frammenti di un grande pianeta scoppiato.

> . . . Contemplo . . . .
> Pei domestici azzurri ire concordi
> La tenue Vesta con le sue sorelle,
> Figlie di madre fulminata un tempo
> Solo cognito a Dio.
>
> (ALEARDI, *Lett. a Maria*).

Or bene, è legge di meccanica che tutti i frammenti nati da una simile esplosione ripassino ad ogni rivoluzione per il punto nel quale è avvenuta la catastrofe (2) ed a questa condizione, se per un momento parevano soddisfare i primi tre asteroidi che s'incrociavano nella *Vergine,* in nessun modo sanno rassegnarsi ad obbedire gli altri, primo dei quali *Vesta,* scoperto dallo stesso Olbers nel 1807.

(1) *Astr. Nachr.* n. 3701.

(2) V. LAGRANGE, nella *Connaiss. des temps* del 1814.

Però, secondo Hirayama, vi sono certi gruppi di pianetini con orbite presso a poco identiche, astrazione fatta delle modificazioni causate da Giove nel corso di lunghi periodi. Il calcolo dell'Hirayama rileva cinque gruppi contenenti da 13 fino a 57 asteroidi, e probabilmente derivanti la loro origine comune da cinque pianeti distrutti.

5. — **Giove.** — *Giove* è il gigante dei pianeti, pesando da solo assai più del doppio di tutti gli altri presi insieme. Se scomparisse il Sole, Giove diventerebbe il centro del nostro sistema. Rappresentate

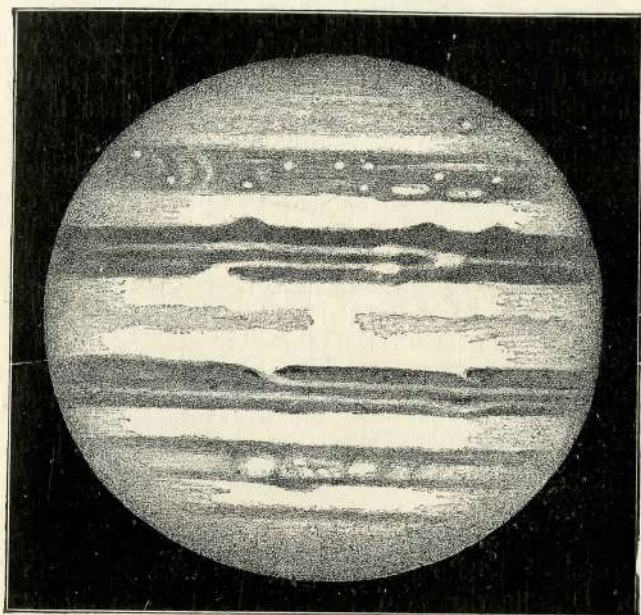



Fig. 84. — Giove, disegnato da Keeler all'Osservatorio di Lick, il 10 luglio 1889.

Giove con una melarancia, ed ecco la nostra terra ridotta ad un pisello! Le dimensioni reali di Giove sorpassano quelle di tutti gli altri pianeti. Il diametro equatoriale è di circa 141600 chilometri, 11 volte quello della Terra; la sua superfice è 119 volte, il suo volume 1300 volte superiore a quello del nostro globo. La massa sorpassa quella della Terra di 318 volte, raggiungendo 1/1047,4 quella del Sole, cifra sicurissima, attese le grandi facilitazioni che danno per calcolarla i numerosi satelliti che accompagnano il grande pianeta. L'intensità del peso è *in media* 2,53 volte superiore a quella che proviamo noi, e fa percorrere ad un corpo in caduta libera m. 12,30 durante

il primo secondo. Tuttavia all'equatore il raggio più grande e la forza centrifuga dovuta alla rapida rotazione diminuiscono notabilmente (di 1/10 circa) l'intensità *media* della gravità. La densità rispetto all'acqua è di 1,36, quasi identica a quella del Sole, e 4 volte minore di quella della Terra. Giove gira su se stesso con una grande rapidità, la più grande finora conosciuta, e la durata varia dall'equatore ai poli: all'equatore non è che di $9^h\ 50^m$; verso 40 gradi di latit. nord e sud, si eleva a $9^h\ 56^m$. Non è certo se verso i poli la diminuzione continui, per l'assenza di dettagli verso le alte latitudini. Inoltre anche a latitudini identiche e vicine la rotazione talora non sembra costante. L'orbita è press'a poco circolare, e l'asse del pianeta ha una inclinazione di 2° 12′ rispetto alla verticale. In Giove il piano dell'equatore incontra, solo sotto un angolo di 3°, quello dell'orbita: la zona dei tropici è dunque là affatto trascurabile e le stagioni vi riusciranno omogenee, non essendo che ben lievi le differenze che vi porteranno le diverse distanze dal Sole. Secondo che si trova in opposizione o in congiunzione, Giove può trovarsi a 591 circa o a 965 milioni di km. da noi.

Ad una opposizione perielica sottende un diametro equatoriale di 50″; ad una opposizione afelica questo diametro si riduce a 45″; in questo caso, anche per combinazione dell'allontanamento splende la metà di quello che splende nel caso precedente. Dicemmo *diametro equatoriale,* perchè Giove è fortemente schiacciato ai poli, essendo il diametro polare 1/17 più corto del diametro equatoriale.

Lo schiacciamento polare di Giove, oltre che da misure dirette, è stato anche dedotto teoricamente dal Prof. Armellini dalle perturbazioni del quinto satellite, ottenendone il valore $\frac{1}{16,5}$ [1].

Sulla natura di questo pianeta immenso non possiamo dir nulla di preciso. D'ordinario esso presenta una zona bianca, lucida, assai larga all'equatore, ai lati della quale ne stanno altre due, una a nord, l'altra a sud, più strette e brune, seguite da altre sottili, alternate bianche ed oscure, fino ai poli: questa però, che è la figura tipica del pianeta, non si conserva sempre identica a se stessa: qua e là le zone mutano talvolta di colore, si frazionano, si addensano in cumuli giganteschi, e si dimostrano anche in preda a movimenti violenti: di che fenomeni però si tratti, non lo sappiamo. Misteriose sono pure per noi anche le macchie *fisse ad un tempo e passeggere* (come le chiamava Cassini), che talvolta si sono osservate sulla superfice ed hanno servito a meglio determinare il periodo di rotazione. Una vasta *macchia rossa,* ad es., apparsa presso l'equatore nel 1878

(1) Rend. della R. Acc. dei Lincei, 1912.

e scomparsa nel 1883, è ritornata nel 1894 a disegnarsi sul pianeta: macchie analoghe (forse le *identiche*) hanno osservato in passato Cassini, Maraldi, Mädler: ma anche qui, se ci si domanda di che si tratti, siamo costretti a rispondere che non ne sappiam nulla. — Giove è circondato da una atmosfera densa, ricca di vapor acqueo e forse ricca anche di una sostanza speciale, che dà una riga caratteristica nello spettro ed è mancante sulla Terra e sul Sole. Millochau osservò che tutte le strisce d'assorbimento sono più forti nella zona equatoriale.

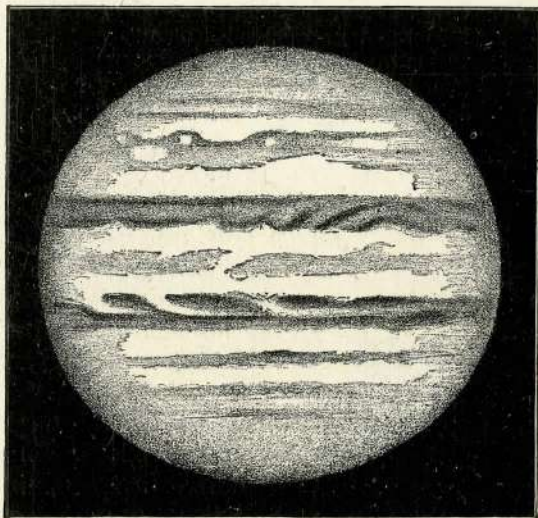



Fig. 85. — Giove, disegnato da Keeler all'Osservatorio di Lick, il 15 luglio 1889.

Che questa atmosfera prema su d'un nucleo solido, ben pochi ardiscono pensarlo; ed i più, tenendo calcolo della poca densità del pianeta, e del suo enorme volume, ritengono che l'atmosfera non sia che la continuazione graduata di un nucleo fluido ancora, che si agita violentemente, in modo analogo al Sole, per disperdere il suo calore ed assumere finalmente una forma che permetta lo sviluppo della vita.

Giove ha un vero corteo di satelliti, e la prima conquista del canocchiale di Galileo nei cieli (7 gennaio 1610) fu appunto di scoprire le quattro *lune gioviane,* che furono poi dette collettivamente *astri medicei.* Si indicano con nome proprio o più comunemente con cifre romane ed hanno i seguenti valori:

NOMI	Distanze medie iovicentriche in km.	Diametri in kilometri	Durata della rivol. in g.	Masse Giove = I	Inclinazione sull'eclittica
I Io	419000	4100	1 3	0,000045	2° 8′
II Europa	662000	3400	3 13	0,000025	1 39
III Ganimede	1064000	5800	7 94	0,000080	2 0
IV Callisto	1874000	4800	16 17	0,000045	1 57

. . . Veggo nell'ampio
Giove al confine delle curve lande
Il giorno tramontar velocemente,
E quattro lune illuminar le fredde
Rapidissime notti, e quattro lune
Specchiarsi all'onda delle sue marine.

(ALEARDI, *Lett. a Maria*).

Le eclissi dei satelliti di Giove servirono per molto tempo a far conoscere l'ora ai marinai e ai viaggiatori sprovvisti di mezzi sufficenti. Siccome una eclisse o anche una occultazione avviene allo stesso momento per tutti i punti della Terra, basta notare l'istante preciso della sparizione o della riapparizione del satellite, e riportarsi alle tavole calcolate precedentemente per vedere di quanto è in errore un orologio locale. Il metodo però manca di precisione per il fatto che i satelliti mettono parecchi secondi o quasi un minuto primo a sparire o apparire, atteso il loro diametro sensibile, e la profondità dell'atmosfera del pianeta. Si potrebbe ovviare a questo inconveniente con un fotometro appropriato [1].

Fig. 86.
Giove colla grande macchia rossa.

Non solo gli Asteroidi, ma la nostra Luna ed anche Mercurio, che cosa sono davanti a questi satelliti? Ganimede, coi suoi 5800 km. di diametro, vale cinque volte la nostra

[1] Ritornando a quanto fu detto nel Cap. III, § 2, le eclissi dei satelliti di Giove servirono pure a Römer, inventore del cerchio meridiano, a scoprire nel 1676 **l'equazione della luce** vale a dire il tempo che mette la luce a percorrere la distanza dal Sole alla Terra. Notava gli istanti delle eclissi dei satelliti, prima quando la terra era più vicina all'opposizione, e poi quando era molto lontana, nelle vicinanze della congiunzione superiore del pianeta dall'altra parte del Sole. In quest'ultimo caso siamo lontani da Giove di una distanza superiore a quella dell'opposizione, di circa il diametro dell'orbita terrestre.

Luna, quasi il doppio di Mercurio, due terzi di Marte: davvero, più che come satellite, egli meriterebbe di passare come pianeta, e come grande pianeta! — Se non fossero involti nella luce del loro astro centrale, questi satelliti si potrebbero discernere ad occhio nudo, e le buone viste riescono difatti talvolta a percepire i più discosti nelle loro massime elongazioni. Con un canocchiale si possono seguire facendo facilmente importanti osservazioni, e si vedono allora passare sul disco di Giove proiettandovi un'ombra nera, occultarsi, emergere, percorrendo tutte le loro orbite quasi in un medesimo piano, pochissimo inclinato sul piano equatoriale. — Le osservazioni di Auwers e di Engelmann assicurano che in Callisto (IV) rotazione e rivoluzione hanno periodi eguali, e tale identificazione di periodi si credeva di poterla ammettere anche per gli altri tre; le osservazioni di Pickering (1892) hanno però sollevato dei dubbi in proposito e fecero anche dubitare della sfericità di questi astri: più tardi si potè accertare che essi hanno una forma allungata e fu controllata la loro ellitticità per mezzo di un nuovo apparecchio, l'*interferometro*, che sarà descritto nel capitolo seguente.

L'analisi spettrale dimostra che i satelliti di Giove non hanno atmosfera o almeno che questa è intorno a loro di molto rarefatta.

Si credeva che ai quattro astri medicei si arrestasse il corteo di Giove, quando il 9 settembre 1892 il Barnard lo riconosceva ricco di un quinto, che dal centro di Giove non dista che 181.000 chilometri. Per vero quest'ultimo arrivato è troppo degenere in quella famiglia di giganti! Di soli 160 km. di diametro, non vi compare che come una stellina di 13ª grandezza, e compie la sua rivoluzione in poco più di un giorno gioviano, vale a dire in 11 ore e 57 minuti!

E questo satellite non fu l'ultimo. L'astronomo Perrine all'Osservatorio di Lick, esaminando varie fotografie prese nei giorni 3, 8, 9 e 10 dicembre 1904, e 2, 3, 4 gennaio 1905, scoprì un *sesto* satellite, la cui natura planetaria venne accertata il 5 gennaio 1905 con osservazioni dirette mentre trovavasi a 45′ da Giove. Nell'agosto dell'anno stesso il signor F. E. Ross calcolò l'orbita del nuovo satellite. Il suo moto orbitale è diretto; il periodo della rivoluzione è uguale a 251 giorni; l'orbita è ellittica con eccentricità =0,16; l'inclinazione del piano orbitale sul piano dell'equatore di Giove è di circa 29 gradi; lo splendore è uguale a quello delle stelle di 14ª grandezza.

Neppur questo fu l'ultimo: chè le medesime fotografie, esaminate con il microscopio, mostrarono traccie d'un altro satellite, che le fotografie poi del 21 e 22 febbraio, fino al 9 di marzo, e del 7, 8, 9 agosto accertarono e permisero allo stesso Ross di calcolare gli elementi dell'orbita di questo *settimo* satellite, di 16ª

Römer trovò che l'osservazione avanzava sul calcolo all'epoca dell'opposizione, per ritardare invece sul calcolo all'epoca della congiunzione superiore. L'astronomo danese concluse che la luce impiegava un tempo finito per traversare l'orbita della Terra, tempo che egli stimò di 22 minuti primi. Più tardi si trovò che l'equazione della luce doveva essere ridotta a 8 minuti, 18^s, 57, corrispondenti alla velocità di 299860 chilometri per secondo. Reciprocamente, conoscendo la velocità della luce da misure di laboratorio si dedusse, dalle irregolarità apparenti dei satelliti di Giove, la distanza della Terra dal Sole.

grandezza. Il movimento è diretto, l'inclinazione dell'orbita di 28 gradi circa sull'equatore di Giove, il periodo di rivoluzione di 265 giorni, la eccentricità debole, eguale a, 0,207, il diametro di circa 72 chilometri.

Il Melotte, calcolatore ed assistente al servizio fotografico dell'Osservatorio di Greenwich, trovò, il 25 febbraio dell'anno 1908, su d'una lastra un punto debolissimo, di 16ª grandezza, di natura planetaria. Questo punto fu parimente trovato su altri sette clichés presi tra il 27 gennaio ed il 27 febbraio. Sulle prime si sospettò che fosse un nuovo satellite del grande pianeta; di poi lo si stimò un asteroide molte debole, e si denominò *1908 C. J.* Fu pure fotografato a Heidelberg il 3 marzo dal Wolf e l'8 a Lick da Albrecht. L'ipotesi di un asteroide, grazie ai nuovi calcoli, andò perdendo terreno, e sempre più si formò la convinzione che l'oggetto fotografato sia l'*ottavo* satellite di Giove. Le osservazioni tendono a dimostrare un movimento *retrogrado*. Il polo della sua orbita è a 334° 48′ di

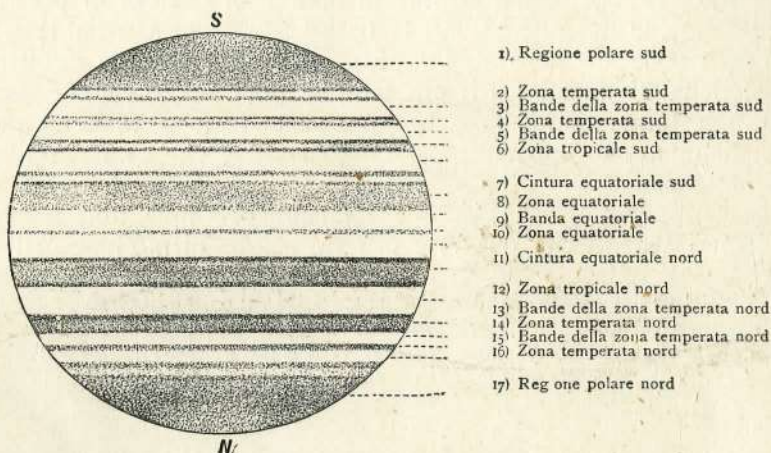



Fig. 87. — Rappresentazione schematica delle zone e bande di Giove.

ascensione retta, a 56° 44′ di declinazione boreale. Il satellite è distante da Giove un quarto circa della distanza che ci separa dal Sole. Gli elementi dell'orbita, calcolati da Crawford e Meyer, danno per periodo anni 2,55.

Il suo movimento in ragione dell'importanza dell'azione perturbatrice di Giove, è molto complesso; gli elementi sono ancora molto incerti, tanto più che le osservazioni sono difficili e rare. Sembrano: asse maggiore 329,3; inclinazione 148°; rivoluzione tropica giorni 738,9; eccentricità 0,38.

Il 21 luglio 1914, a Mount-Hamilton, Nicholson scoprì fotograficamente un *nono* satellite, che sembra avere una rivoluzione di circa 3 anni, ed un movimento *retrogrado*.

Grandi differenze vi sono fra i satelliti di Giove scoperti dopo il secolo XVII e i quattro medicei: piccolezza, volume, inclinazione delle orbite ecc., caratterizzano i tre primi e li fanno ritenere un

gruppo a parte essenzialmente distinto, e quindi fan credere profondamente diverse le condizioni in cui si sono formati.

Che mondo sarà dunque quello di Giove? Anni che ne durano 12 dei nostri; giorni invece di neppur 5 ore, alternati con notti di pari brevità; stagioni omogenee, anzi anni e serie d'anni assai uniformi! E se tanto non basta, a rendervi pesante la vita, là vi concorre anche la gravità. Se esseri albergano lassù, devono avere muscoli d'acciaio per resistere alle enormi attrazioni; uno di noi (60-80 kilogrammi) vi peserebbe da 150 a 200 kg.! — Ed attraverso a quella densa atmosfera contemplano essi il cielo? Se lo contemplano, ad ogni congiunzione e ad ogni opposizione dei loro satelliti, godono di eclissi e passaggi a seconda delle grandezze e delle distanze.

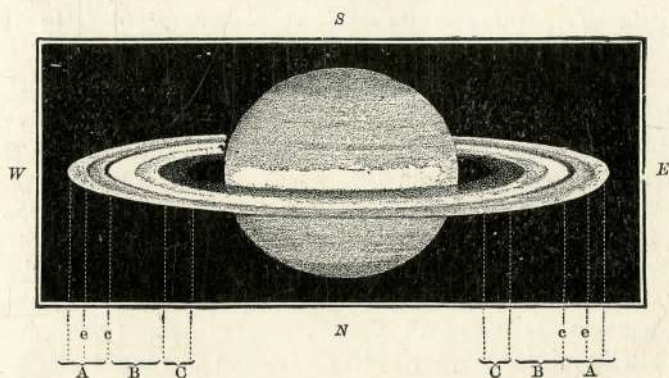



Fig. 88. — Disegno dell'anello di Saturno e delle divisioni:
A) anello esterno lucente; B) anello interno chiaro; C) anello oscuro o trasparente;
e) divisione di Encke; c) divisione di Cassini.

Se vedono la nostra Terra, non la giudicano di certo che un punto nello spazio; e se per un momento conoscono le passioni e le lotte che questa Terra accende in esseri ragionevoli, crollando mestamente il capo non avranno per noi che scherno o compassione!

6. — **Saturno.** — *Saturno* è una delle più alte, o meglio la più alta meraviglia del mondo solare: è il più ricco dei satelliti ed insieme è il più schiacciato. La forma ovale in Saturno è assai sensibile, ed il suo diametro minore sta al maggiore nel rapporto di 8 a 9.

Saturno è circondato da un'atmosfera densa ed alta che assorbe in notevoli proporzioni i raggi solari. Lo spettro è analogo a quello di Giove e dimostra che il pianeta non risplende che di luce riflessa. Perchè di colore pallido-piombo, gli antichi lo consideravano di triste

presagio; perchè lento, da impiegare due anni e mezzo a percorrere una costellazione zodiacale, lo chiamavano *pigro*. — Saturno si sposta sul cielo in un anno di una quantità *angolare* eguale a quella di cui la Terra si sposta in 13 giorni circa: ad ogni anno e 13 giorni noi lo incontriamo adunque sempre in opposizione.

Saturno presenta facilmente striscie e zone oscure analoghe a quelle di Giove, però più variabili; e, come Giove, presenta talvolta delle macchie temporarie di una certa durata, che hanno permesso di determinare il periodo di rotazione. Una di tali macchie, durata dal dicembre 1876 fino al gennaio seguente, ha servito ad Hall a determinare di ore 10, m. 14 il periodo di rotazione di Saturno, e tale risultato coincide prossimamente con quelli già ottenuti da Herschel nel 1793 (10^h 16^m) ed anche con quelli importantissimi pubblicati nel 1895 da W. Stanley e da altri su osservazioni fatte dal 1891 (10^h 14^m 21^s, 1) al 1894 (10^h 12^m 35^s, 8). L'*Annuaire du B. des Longit.* del 1922 dà per durata di rivoluzione 10^h 14^m. — In quale stato sia la materia che costituisce Saturno, noi non lo possiamo dire e forse (come per Giove e per il Sole) non lo possiamo neppure immaginare; la poca densità (0,13:Terra=1; 0,7:acqua=1), che è la minima del mondo planetario, e l'altezza dell'atmosfera visibilmente e frequentemente sconvolta da agitazioni violente e irregolari, fanno ritenere che quel globo sia ancora interamente, o almeno in massima parte, allo stato di fluidità. — Per la massa di Saturno abbiamo accettato il valore di 95,22 rispetto alla Terra, corrispondente a quello di 1/3501,6 rispetto al Sole; il raggio di Saturno è di km. 60934,416.

Saturno ha otto satelliti e i loro elementi sono raccolti nel seguente prospetto:

Ordine e Nome	Distanza dal centro di Saturno in km.	Durata della rivoluzione in giorni, ore, minuti				Masse — Saturno = 1	Scopritori e data della scoperta	
1. Mimas	184000	0g	22h	37m	5s	1/16340000	Herschel, settembre	1789
2. Encelado	236000	1	8	53	7	1/4000000	Herschel, 29 agosto	1789
3. Reti	292000	1	21	18	26	1/921500	Cassini, 21 marzo	1684
4. Dione	374000	2	17	41	9	1/536000	Cassini, 21 marzo	1684
5. Rea	523000	4	12	25	12	1/250000	Cassini, 23 marzo	1672
6. Titano	1112000	15	22	41	27	1/4700	Huygens, 25 marzo	1655
7. Iperione	1467000	21	6	38	24	?	Bond, 16 settembre	1848
8. Giapeto	3528000	79	7	56	3	?	Cassini, 25 ottobre	1671

Come è facile vedere da questo quadro, Saturno è un mondo colossale. *Titano* ha un diametro che corre da 6 a 7 mila km.: supera dunque Mercurio e gareggia con Marte! *Giapeto* ha un periodo di rivoluzione di poco inferiore a quello di Mercurio. — Non trascuri il lettore, riguardo a questo punto, un'osservazione. Giapeto e Mercurio impiegano rispettivamente 79 e 88 giorni nelle loro rivoluzioni, mentre distano dai rispettivi centri al Sole il primo soltanto 3, l'altro invece 57 milioni di km. Stabilisca tra questi valori i rapporti suggeriti dalla legge di Newton e dedurrà il rapporto della massa di Saturno alla massa del Sole.

La scoperta di *due nuovi satelliti* di Saturno, costituì un nuovo e memorabile trionfo della fotografia celeste. Il primo fu scoperto dall'astronomo americano Guglielmo Pickering e dagli astronomi del Harvard College in Cambridge, coll'attento esame delle lastre fotografiche ottenute ad Arequipa (Perù) col telescopio Bruce di 24 pollici, il 16 e 18 agosto 1898. Dopo il primo annunzio non si udì più parlare di questo satellite, mentre il Pickering e gli astronomi americani continuavano a prendere fotografie e ad esaminarle. Già nel 1900 si ebbero tracce sicure, e nel settembre 1902, in 60 fotografie di Saturno, 42 mostravano distintamente il nuovo satellite. Finalmente nel 1904 nuove perfette fotografie ad Arequipa tolsero ogni dubbio, anzi fecero scoprire che esso movevasi in senso *retrogrado*. Ne fu calcolata una nuova orbita, coll'aiuto della quale il prof. Barnard dell'Osservatorio Yerkes (Stati Uniti), per mezzo del potentissimo e grande canocchiale di metri 1,04 di apertura, potè vedere per primo direttamente il nuovo satellite, che già sin dal 1898 fu dal Pickering chiamato *Febe*.

Le medesime fotografie sovra menzionate, che servirono a determinare l'orbita di Febe, servirono pure al Pickering a scoprire nel 1905 un *decimo* satellite, cui pose il nome di *Temi*. Il suo splendore relativo può paragonarsi a quello di una stellina tra la 16ª e 17ª grandezza. Il movimento orbitale è diretto; si muove nello spazio compreso tra i satelliti Titano ed Iperione, i quali ne devono perturbare fortemente l'orbita, quando essa venga nelle loro vicinanze.

La maggior meraviglia di Saturno, è costituita dall'anello o meglio dal sistema degli anelli. Partendo dal centro e camminando nel suo piano equatoriale, con km. 60934 di strada arrivate alla superfice di Saturno; camminate per altri 29248 km. ed eccovi a contatto della superfice interna di un anello che cinge il pianeta; camminate per altri 46919,6 km. ed eccovi sulla superfice esterna convessa di questo anello immane, a contemplare le 10 lune Saturniane. Quale sia lo spessore complessivo dell'anello non è ben determinato: alcuni lo ritennero di

882 km. (Schröter), altri di 215 (Bessel) e infine vi fu che lo ritenne di 67 (Bond). Certo è ad ogni modo che in confronto della larghezza (raggio interno km. 90182, raggio esterno 137102) lo spessore, anche di 800 km. è una nullità, e per formarci un'idea di quest'aureola di Saturno non possiamo che paragonarla ad una rotella ritagliata in un foglio di carta e posta intorno ad una melarancia. — Ai forti ingrandimenti l'anello non si presenta omogeneo. Una zona oscura (di 3230 km., detta **la divisione di Cassini**) lo scinde anzitutto in due corone ineguali, maggiore (due terzi della larghezza totale) delle quali è l'interna (B): una seconda zona (detta **la divisione di Encke,** dal nome dello scopritore) suddivide in altre due corone, pure ineguali, l'esterna (A): altri hanno pure in seguito creduto di aver constatato altre zone; ed infine, sotto e concentrico agli anelli descritti ed alla sola distanza di chilometri 15600 dalla superfice del pianeta, Bond ha rinvenuto un ultimo anello oscuro, debolmente trasparente, e rivelato soltanto da una mezz'ombra proiettata sul disco. — Quale la costituzione di questi anelli? Nello spettro degli anelli non c'è alcuna riga che indica la presenza dell'atmosfera. Le divisioni già accennate, la sottigliezza e i diametri impediscono di credere che essi siano d'un pezzo solo, e la maggior parte degli astronomi inclina a crederli di meteoriti, o, in generale, di particelle (solide o gassose) le une dalle altre più o meno indipendenti. A persuadere questa idea altre osservazioni si sono ora aggiunte e sono: 1° l'essersi notato che i diversi anelli elementari non giacciono tutti in un medesimo piano; — 2° l'essersi notato che facilmente qua e là essi presentano condensazioni parziali, macchie, alterazioni, inflessioni, le quali hanno fatto anche temere di uno sfasciamento; — 3° l'essersi notato infine che le diverse zone dell'anello hanno velocità

Fig. 89. — Disegni di Saturno col suo anello, dalle prime osservazioni telescopiche.
(Secondo il « Systema Saturnium » di Huygens).

diverse secondo quanto impone la terza legge di Kepler. Keeler (1895) con lo spettroscopio ha misurato di km. 3,6 per secondo l'*eccesso* di velocità del contorno interno dell'anello su quella del contorno esterno. — Secondo il Tisserand, la massa degli anelli sarebbe 1/620 di quella del pianeta: il periodo di rotazione della zona media lo si vuole di 10 ore e 46 minuti.

Il piano degli anelli forma un angolo di 28°, col piano dell'orbita terrestre. Ne viene che quando la Terra si trova nel piano degli anelli, questi per noi non si riducono che a due filetti sottili, talvolta anche impercettibili: belli ed aperti si presentano invece nelle posizioni intermedie. Come è facile indovinare, ad ogni rivoluzione di Saturno queste *minime* e *massime* visibilità de' suoi anelli si presenteranno due volte: alla distanza di quasi 15 anni si avranno dunque i due *minimi* e alla distanza di 7 anni e mezzo si incontreranno i *massimi*. Un *minimo* si ebbe nel 1907 ed un altro avvenne nel 1921. Un *massimo* s'ebbe nel 1898 (con l'anello che nascondeva il polo *sud*) ed uno nel 1914 (con l'anello che nascondeva il polo *nord*). Un altro minimo avverrà verso il 1934-35.

Galileo aveva notato nel 1610 che Saturno non era sferico come gli altri pianeti: giudicando però che le anse laterali fossero altri due corpi, *due servitori che aiutassero il vecchio Saturno a percorrere il suo cammino,* chiamò *trigemino* il pianeta, dando notizia della cosa a Kepler colla seguente formola:

Smaisnermielmmpobtalevmiuneuagttaviras

che Kepler non riuscì a decifrare e che voleva dire:

Altissimum planetam tergeminum observavi.

Anche Evelio osservò, ma non comprese, il sistema di Saturno; e chi per primo la decifrò, fu solo Huygens, il quale, come Galileo, involse la sua scoperta nella forma enigmatica;

aaaaaa ccccc d eeeee g h iiiiii lll mm
nnnnnnnn oooo p q rr s ttttt uuuu

che solo tre anni dopo (1662) decifrò, ordinando le lettere nel seguente modo:

Annulo cingitur tenui, nusquam cohaerente, ad eclipticam inclinato.

L'inclinazione dell'asse di rotazione sull'orbita e la gravità di Saturno sono di ben poco superiori a quelle della Terra: il cielo però là deve mostrarsi ben diverso da quello che contempliamo noi.

Rapidi i giorni, lunghissimo l'anno, piccolo il Sole, appena visibile la Terra, Giove bello quale lo vediamo noi e per di più colle fasi: in compenso però dieci Lune e poi l'anello gigantesco come iride perenne disteso nei cieli!

7. — **Urano.** — Guglielmo Herschel, intento il 13 marzo 1781 ad osservare la costellazione dei *Gemelli,* fu colpito da meraviglia incontrandovi un astro di insolita grandezza, a contorni nettamente definiti. L'oculare, di cui in quel momento era armato il suo telescopio, non ingrandiva che 227 volte: gliene sostituì un altro che ingrandiva 460, poi un terzo che ingrandiva 932, e vide che, mentre le stelle si mantenevano sempre puri punti luminosi, l'astro misterioso assumeva invece dimensioni sempre più forti. Impossibile il dubbio!

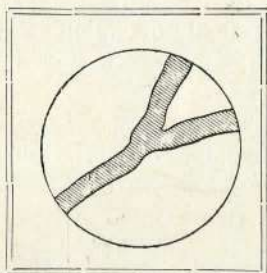



Fig. 90.
Urano, secondo C. S. Holden.

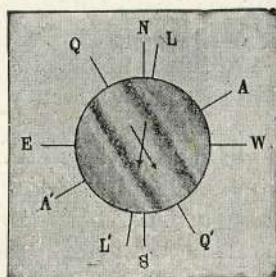



Fig. 91.
Urano, secondo Henry.

— quest'astro non poteva essere che una cometa o un pianeta: Come una cometa lo considerò Herschel, che per un momento non seppe rompere la tradizione che segnava con l'orbita di Saturno i confini dei regni del Sole: che fosse però un pianeta, lo dimostrò con la discussione de' movimenti nel 1785 il nostro Oriani,

> Lui che primiero dell'intatto Urano
> Co' numeri frenò la via segreta,
> *Orian* degli astri indagator sovrano.
>
> (MONTI, *Masch.*, I, 100).

Nella fig. 47, in U″ è segnato Urano là dove lo incontrava il telescopio di Herschel la prima volta. Diversi nomi furono proposti per il nuovo astro, *Herschel, Georgium sidus,* ecc.: quello di *Urano,* che continuava nei cieli le tradizioni mitologiche, ottenne però il sopravvento.

Urano fu visto più volte prima di Herschel, dal 1690 al 1780: per il suo movimento lento fu però sempre confuso con le stelle. Talvolta riesce visibile anche ad occhio nudo: allora ci pare una stellina di 6ª grandezza. Urano pesa circa 14 Terre e ne ha il volume di 63: ha quasi la densità dei nostri mari (1,3; acqua=1) ed una gravità che è 0,92 di quella che domina su noi! L'anno di Urano ne dura 84 dei nostri: un vecchio che qui muore cadente, là sarebbe dunque un bambino ancora ai primi denti! Un raggio di Sole per arrivare ad Urano impiega più di 2 ore e 38 minuti: se là vi fossero spettroscopisti dotati di strumenti di potenza straordinaria, osserverebbero le protuberanze, ma le vedrebbero *due ore e mezzo dopo* degli astronomi della terra! — Urano passò al suo perielio nel 1883: vi ripasserà nel 1967: ritornò il 21 marzo 1805 al punto nel quale Herschel lo scoprì.

Urano ha 4 satelliti, i quali (fig. 47) hanno un moto *retrogrado,* e si muovono in un piano quasi perpendicolare al piano dell'eclittica.

Il movimento retrogrado non è che un'apparenza dovuta all'inclinazione esagerata del piano comune delle orbite uraniane. È ben differente dal movimento realmente retrogrado dei satelliti di Saturno e di Giove, che corrono in senso contrario a quello dei loro compagni e della rotazione dei loro pianeti.

Gli elementi dei suoi satelliti sono i seguenti:

Nome	Distanze uranocentriche in km.	Durata della rivoluzione in giorni, ore, minuti				Scopritori e date delle scoperte
Ariel. . .	192600	2g	12h	29m	21s	Lassel — 24 ottobre 1851
Umbriel .	270600	4	3	27	37	Lassel — 24 ottobre 1851
Titania . .	435000	8	16	56	30	Herschel — 11 gen. 1787
Oberon. .	578000	12	11	7	7	Herschel — 11 gen. 1787

Si era parlato di altri quattro satelliti da aggiungersi a questi primi, ma nessuno finora li ha assicurati.

Che Urano abbia atmosfera si può dedurre dalle analisi spettrali di Secchi, Huygens e Lockyer, per altro non concordi sugli elementi che la costituiscono.

In seguito si è accertato che lo spettro di Urano è caratterizzato da alcune righe oscure ben visibili malgrado la debole intensità dello spettro. Tra esse si vede ben delineata la riga F dell'idrogeno, da cui Slipher deduce che nell'atmosfera d'Urano vi debba essere dell'idrogeno allo stato libero: alcuni hanno veduto nello spettro anche le righe caratteristiche dell'elio.

Che Urano sia fortemente schiacciato lo dimostrerebbero le osservazioni di Meyer, Young e Schiaparelli; che abbia un periodo di rotazione di circa dieci ore lo persuaderebbero le osservazioni fatte dal 18 marzo al 7 aprile 1884 dal Perrotin ed insieme dal Lockyer e dal Trépied all'Osservatorio di Nizza, sopra di una macchiolina lucente che il pianeta presentò all'equatore. Da considerazioni generali il prof. See deduce un periodo di $10^h\ 6^m\ 40^s,32$. Bertrand darebbe come periodo 11 ore. — Ed ora riflettete: l'anno di Urano dura 30750 dei *nostri* giorni, ossia 73800 giorni *uranici*. Il Sole vi è visto sotto un diametro apparente di 1′ 40″: Mercurio, Venere, Terra, Marte non vi sono percepiti: anche Giove vi è solo retaggio dei buoni canocchiali che lo cercheranno, come Saturno, in prossimità del Sole, al mattino od alla sera..... Se là si vive, la vita vi si deve spiegare ben diversa dalla nostra; noi non vediamo che qualche macchia, qualche assorbimento dell'atmosfera di quel pianeta, ma che cosa sotto vi si agiti, non lo sappiamo! Forse vi si piange... forse vi si canta invece un inno di tripudio... Dio ascolta e nota e ricompenserà!

8. — **Nettuno.** — Le Verrier con il calcolo ha conquistato al Sole questo nuovo vassallo, portando così i confini del nostro sistema da 2800 a 4400 milioni di km.! Nella statua innalzatagli nella corte dell'Osservatorio di Parigi il 28 giugno 1889, il fatto è ricordato: Le Verrier, in piedi, stringe nelle mani i fogli de' suoi calcoli, mentre con lo sguardo indagatore si slancia a interrogare i cieli, ed un genietto, lì di fianco, si solleva e gli presenta Nettuno! — Eppure tanto trionfo ed insieme i tanti calcoli che si usano oggidì come basi nella scienza dei cieli, erano un nulla per l'insigne astronomo francese. Al Vescovo di Coutances che si congratulava con lui perchè con la sola matita si era sollevato fino alle stelle, Le Verrier, togliendosi il cappello e chinando il capo, rispondeva umilmente: « Monsignore, medito qualche cosa di ben più grande ancora... Voglio sollevarmi non soltanto fino alle stelle, ma fino a Dio, e spero che le vostre preghiere mi aiuteranno a toccare la mèta! »

Nettuno ha l'apparenza di una stellina di ottava grandezza. Ha un diametro di 55000 km. ed un volume di 78 Terre, e i canocchiali, anche più potenti, finora non lo hanno riconosciuto che come un disco nettamente definito e uniformemente luminoso. — Nettuno si sposta sulla volta del cielo 20″ al giorno: i suoi anni durano dunque poco meno che 165 dei nostri. La rivoluzione sinodica di Nettuno è di 367 giorni: egli percorre dunque in *uno* dei nostri anni tanti gradi sul cielo quanti ne percorre la terra in *due* giorni! Lo spostamento assegnatogli da N in N′ nella nostra carta (fig. 47),

è esagerato: i due dischetti vi dovrebbero essere a stretto contatto! Se nella durata della vita là stanno le proporzioni come da noi, sulla Terra si rimutano tre generazioni intanto che un Nettuniano si libera dalle fasce e tenta i primi passi! Il Sole, visto da Nettuno, non sottende che un diametro di un minuto primo: impiega quattro ore ad arrivarvi con la luce e non vi porta che poco più di *un* millesimo della luce e del calore che porta a noi. — Anche Nettuno era stato visto prima senza essere riconosciuto come pianeta. Lalande l'aveva osservato l'8 e il 10 maggio del 1795 e creduto una stella. — Hind constatò che anche Lamont aveva osservato Nettuno, una volta nel 1845, due (7 e 11 settembre) nel 1846. Un'immediata riduzione delle posizioni avrebbe fatto scoprire a Lamont il pianeta, dodici giorni prima che Galle riconoscesse e confermasse quanto Le Verrier aveva trovato con il calcolo.

Il periodo di rotazione è ancora molto incerto. Secondo Maxwell Hall, sarebbe di 8 ore circa; secondo le deduzioni del See (1) di $12^h\ 50^m\ 53^s,4$, mentre Oepik, da variazioni periodiche della luminosità, trovava il valore $7^h\ 50^m$. Se la grande distanza di Nettuno non ha ancora permesso di determinare direttamente lo schiacciamento polare e la durata della sua rotazione; si è cercato di giungervi indirettamente, con i metodi della Meccanica Celeste, che collegano lo schiacciamento polare di un pianeta con le perturbazioni subite dai suoi satelliti. In tal modo il *Tisserand* ha trovato che se il pianeta fosse omogeneo, il suo schiacciamento polare sarebbe di circa 1/20 e la durata della sua rotazione di circa 10 ore, dati che come i precedenti sono assai incerti.

Il satellite le cui perturbazioni servirono per i calcoli del Tisserand, fu scoperto da Lassell il 10 ottobre 1846, ed ha un periodo di rivoluzione di giorni 5, ore 21, $2^m\ 38^s$, con una distanza di circa 341000 km. dal pianeta. Anche questo satellite ha un movimento a rovescio degli altri e passa quindi da est in ovest, come quelli di Urano: a tale movimento si può dare la medesima interpretazione del paragrafo precedente. Nel 1850 parve a Lassell di aver visto colà un secondo satellite ed erano le perturbazioni subite dal primo satellite che facevano pensare ad un secondo o più altri satelliti perturbatori, ma il prof. Armellini ha mostrato col calcolo che in tal caso questi ignoti satelliti, dovrebbero avere una massa tale da renderli agevolmente visibili; il che non è riuscito ad alcuno astronomo.

9. — **Alcune osservazioni.** — Prima di partire dal sistema solare per sollevarci a viaggiare per altri mondi, importa fare alcune osservazioni.

---

(1) *Astr. Nachr.*, n. 3992.

A) — Ricordiamoci anzitutto di non esagerare le nostre cognizioni, come pur troppo oggidì è in uso di fare. Venere e Marte sono i pianeti meglio conosciuti, eppure, anche con i grandi canocchiali, sopra di essi non possiamo *discernere* che oggetti che abbiano da 31 (Venere) a 50 (Marte) km. di dimensione. E diciamo *discernere*, perchè di questi oggetti, se si volesse determinare la forma, bisognerebbe allora che presentassero almeno dimensioni doppie per ogni senso e che avessero quindi da 60 a 70 km. in Venere di dimensione e 100 in Marte! Per Mercurio, Giove e Saturno questi valori ingrandiscono: e perchè un oggetto sia discernibile in questi pianeti, deve presentare rispettivamente almeno 70-500-1000 chilometri. Come dunque essere tanto arditi nelle affermazioni?

Fig. 92. — La luce zodiacale.

B) — Nelle sere di febbraio, marzo ed aprile in occidente, e nelle mattine di settembre ed ottobre in oriente - in generale all'epoca degli equinozi - si discerne un cono luminoso, vivo talvolta come la Via Lattea, con la base dell'orizzonte e che si solleva a distendersi lungo le costellazioni dello zodiaco: si chiama la **luce zodiacale.** — Questa luce, brillante e visibile per tutto l'anno nei paesi equatoriali, segue il movimento diurno delle stelle ed è quindi considerata non come fenomeno atmosferico, ma come dipendente da una materia cosmica, esilissima, disposta a forma lenticolare attorno e nel piano equatoriale del Sole, e distesa fino alla Terra.

Lo spettro della luce zodiacale è continuo; la sua debolezza impedisce di scorgervi le righe di Fraunhofer. È un errore il credere che vi sia una riga verde, avendo Vogel riconosciuto che quando si vede tale riga, essa è visibile nello stesso tempo su tutti i punti del cielo.

Nella parte del cielo, diametralmente opposta al Sole tramontato, scorgesi talvolta un certo bagliore confuso, che i tedeschi chiamano **gegenschein** (luce opposta o quasi riflessa), e Schiaparelli chiama *fuso minore*. Qualche rara volta questa luce stendesi sino a venire a contatto con il vertice del cono della luce zodiacale: e tal fenomeno è più frequente nelle regioni equatoriali, dove lo Jones a Quito nell'Equador dice d'averlo osservato ogni notte (1856). Tanto della luce

zodiacale quanto di questo « fuso minore » non si è trovato ancora una spiegazione plausibile.

C) — Si domanda da qualcuno se al di là di Nettuno non vi saranno altri pianeti. Bisogna rispondere che di positivo non se ne sa nulla, e che soltanto i progressi dell'astronomia potranno qui dare risposta decisiva. — Nettuno, studiato da quasi un secolo, non ha ancora presentato delle irregolarità che impongano un pianeta più esterno: ma Nettuno finora non lo abbiamo seguíto che per una metà circa della sua orbita: chi ci assicura che di tali irregolarità non ne abbia a presentare coi movimenti futuri? Il problema resta adunque affatto indeciso ed ognuno è libero di adagiarsi in quella qualunque sentenza che meglio lo accontenta: una sola cosa però è certa ed è, che se altri astri al di là di Nettuno si celano, incatenati al nostro Sole, non avranno che movimenti di estrema lentezza e non brilleranno che come stelline di 11ª o 12ª grandezza. — Considerando intanto Nettuno come ai confini, soffermiamoci un istante ad abbracciare con uno sguardo solo tutto il sistema. È un piano circolare di quasi 9 bilioni di km. di diametro! La luce che fa 300000 km. per secondo, un treno che ne corre 1440 al giorno, un cavallo che ne corre 240, un uomo che ne corre 50, ad attraversare questo disco immane disteso nei cieli impiegherebbero rispettivamente 8 ore e 13ᵐ, 17000 anni, 102000 anni, 5000000 di anni! Lo ripetiamo anche qui: noi scriviamo questi numeri, ma non li comprendiamo!... E allora, chi misura la potenza del Sole, che a plaghe sì lontane e su moli immense distende uno scettro incontrastato e sicuro? E la potenza della mano che ha plasmato il Sole, chi la misura? Ah, che nei cieli è pur grande Iddio!

E tutta questa immensità del sistema solare che cos'è poi nell'universo? un granellino di arena sul lido del mare, uno scoglio ignudo nell'oceano sconfinato! Oh davvero qui la nostra fantasia, la nostra mente vengono meno: queste grandezze, queste immensità ci opprimono, e a noi non resta che prostrarci al trono di Dio!

10. — Ipotesi di Laplace. — E nel pensiero di Dio Creatore ancora una domanda: Con qual legge fu plasmato questo meraviglioso sistema solare?

All'aurora dei tempi, una Voce onnipotente chiamava all'esistenza la materia, e questa, vuota ed informe, come una nebulosa esilissima, si distendeva per tutto l'Universo. Vaporizzate tutti gli astri, confondetene, disperdetene sopra di una estensione sterminata gli elementi, ed eccovi una idea del primo caos, sul quale incombevano le tenebre.

A questo stadio avrebbe fatto seguito una prima divisione di nebulose, una di queste, formata di materia non pulverulenta e fornita

delle sole forze interne (attrazione), come la volle Kant, ma gassosa e animata anche di un movimento di rotazione, come la richiese Laplace. Che sarà avvenuto? Mettetevi davanti la fig. 47 e immaginate uno sferoide immane, di gas esilissimo, che si distenda al di là dell'orbita di Nettuno e ruoti col suo equatore nel piano e nel senso dei pianeti. Ai poli si schiaccerà, all'equatore assumerà invece un rigonfiamento assai pronunciato, e tra l'interno e l'esterno presenterà uno scambio di energia, che influirà rapidamente sulle condizioni dinamiche del sistema. Supponete che tutta la massa ruoti concorde, e che i gruppi molecolari della periferia, irradiando all'esterno, si raffreddino, si condensino, e, fatti più gravi dei sottostanti, attraverso a questi, si aprano la strada per cadere al centro: per questo solo fatto, la velocità di rotazione di tutta la massa discoidale diventerà più celere. Come mai? Badate: una molecola che si stacca da U″ per andare al centro H, non può seguire il raggio U″TV‴, allo stesso modo con il quale gli alisei non possono seguire i meridiani, perchè la sua velocità lineare è maggiore di quella corrispondente ai punti interni T,V‴ ecc.: discendendo, si porterà dunque *avanti,* verso G, e con le nuove compagne non si uniformerà nel movimento lineare, se non quando, con gli urti comunicati, avrà esaurito l'*eccesso* di velocità che sopra di esso aveva. Or bene, questi urti avranno bensì rallentata la molecola cadente, ma avranno fatte più celeri le inferiori sospinte. Estendete l'applicazione di questo principio a tutte le molecole; fate che la condensazione progredisca continuamente e in corrispondenza voi troverete animarsi da rotazione sempre più rapida e tutta concorde la massa nebulare. — Questo aumento di velocità avrà un'influenza importantissima sulle molecole delle zone equatoriali, e venendo un momento nel quale la forza centrifuga riuscirà superiore alla centripeta, lungo l'equatore si staccherà una zona che circolerà poscia negli spazi abbandonata a sè. La nebulosa residua continuerà però intanto nel suo processo di condensazione abbandonando in seguito altre zone; e col risultato ultimo noi la vedremo dunque in fine risolta in una massa centrale circondata da anelli concentrici, tanto più rapidi quanto più stretti, tutti diretti in un medesimo senso. La dureranno questi anelli? Non è probabile. Una condensazione che si verifichi in un punto, si costituirà centro intorno al quale si raccoglierà tutta la materia di un anello, sotto forma di un'altra piccola nebulosa discoidale: le molecole esterne, perchè animate da un movimento tangenziale più rapido di quello delle interne, faranno prendere a questa nebulosa elementare anche il movimento di rotazione attorno ad un asse normale al piano di traslazione; ed ecco allora anche qui il rigonfiamento equatoriale, il sopravvento della forza centrifuga e il conseguente

abbandono degli anelli, che in fine si raccoglieranno e condenseranno sotto forma globulare. Il primo anello abbandonato dalla grande nebulosa sarebbe stato quello di Nettuno, il secondo quello di Urano, il terzo quello di Saturno ecc.: da questi anelli primari sarebbero nate le piccole nebulose; da queste poi i pianeti coi satelliti rispettivi. Che cosa è dunque il movimento attuale di rotazione e di rivoluzione di tutti i corpi del sistema solare? « Non è che l'equivalente, senza aumento e senza diminuzione, del movimento primitivo di rotazione comunicato alla nebulosa da una causa esterna » (Wolf).

Accettando tale ipotesi, vediamo almeno i principali dei fatti che le danno appoggio e da essa deriva facile la loro spiegazione.

1° Facile a riprodursi è il distacco degli anelli. Secondo gli insegnamenti di Plateau, formate ed aggirate in mezzo ad una mescolanza d'acqua e di alcool una palla d'olio, e tosto la vedrete deprimersi ai poli e dare anelli all'equatore.

2° I primi anelli dovevano essere più lenti, gli ultimi più rapidi; — ed ecco difatti alla diversa rotazione degli anelli corrispondere i periodi di rivoluzione di 165 anni circa per Nettuno, di 84 per Urano ecc., e poi di 25 giorni circa per il Sole, residuo e centro della nebulosa primitiva.

3° I primi anelli, di diametro maggiore e di materia a condensazione meno avanzata, avranno dato pianeti di mole maggiore e di condensazione a periodo più lungo; — ed ecco i pianeti esterni (Giove, Saturno ecc.) di mole immensa e di densità debolissima, ed invece gli interni (Marte, Terra ecc.) [1] piccoli di mole ed a condensazione già avanzata.

4° La condensazione sarà stata non solo in ragione diretta della densità primitiva, ma anche in ragione inversa della massa, e quindi i corpi minori si saranno raffreddati per i primi; — ed ecco la Luna, morta, senz'aria e senz'acqua; Marte, più piccolo della Terra, già poverissimo di acqua e di aria; e la Terra invece ancora con oceani predominanti e con atmosfera assai alta.

5° Quanto più sarà stato grande il restringimento di tali nebulose tanto più ne sarà risultato rapido il movimento di rotazione; — ed ecco i periodi di rotazione di Giove, Saturno e Urano minori della metà di quelli di Marte e Terra.

6° Alla rapidità di queste rotazioni avranno dovuto corrispondere il numero dei satelliti e lo schiacciamento del pianeta; — ed ecco difatti Venere e Mercurio senza satelliti e poco depressi, ed invece man mano più depressi e ricchi di satelliti la Terra, Giove Saturno ecc.

(1) V. pag. 128.

7° Se gli anelli non avranno subíto influenze, si saranno conservati; se assoggettati a influenze preponderanti, ne avranno patite alterazioni profonde; — ed ecco persistenti e mirabili gli anelli di Saturno, e invece disgregato in tanti pianetini dall'attrazione di Giove, l'anello che avrebbe dovuto dare un grande pianeta al disopra di Marte.

8° Con lo staccarsi degli anelli la massa centrale si sarà andata man mano impoverendo; e crescendo la condensazione, all'equatore si saranno determinate sempre più rapidamente le zone di separazione; — ed ecco gli anelli tanto più vicini tra loro quanto più interni, come dimostra le legge di Bode.

9° A tacer d'altro, ricordo che alcuni apologisti si valsero dell'ipotesi di Laplace, per usarla a interpretazione del primo Capo del Genesi. Allorchè si distaccò l'anello che doveva formare la Terra, la nebulosa residua interna non era ancora il Sole, ma Sole, Venere e Mercurio insieme: passò dunque un'epoca e si distaccò Venere; ne passò un'altra e si distaccò Mercurio; ed ecco il Sole non manifestarsi tale che alla terza epoca, ossia al terzo giorno, come appunto la cosmogonia mosaica insegna. — La Terra, condensandosi, avrà sviluppato luce e calore e si sarà mostrata brillante in mezzo agli spazi; ed ecco adunque la luce anche senza il Sole. — Le materie più pesanti si saranno stratificate all'interno del nostro globo, e su quell'oceano di sostanze fluide si saranno distese a galleggiare le prime scorie, che poi, rinsaldandosi tra di loro, avranno costituita la prima crosta: ed ecco l'*arida*, che in seguito in mille modi si torce e si piega e riceve le acque, e poi a miriadi innumerevoli dà e nutrica gli esseri chiamati al banchetto della vita.

Questi i punti principali, che fecero accetta l'ipotesi di Laplace. — Non si può negare che tanti sono davvero seducenti; ma in pari tempo non si può poi nemmeno nascondere che alcuni, l'ultimo in modo particolare, non hanno che valore troppo soggettivo e dipendono solo da apprezzamenti personali. Contrariamente alle intenzioni falsamente attribuite al suo autore Laplace, anche essa impone assolutamente Dio come *creatore, motore, legislatore* della prima materia; e se toglie la forza di proiezione, invocata da Newton, sostituendola con una di rotazione, di *forze* e di *principi ordinatori,* essa pure non può assolutamente farne a meno. Inutile reagire: mettetevi pure per qualsivoglia strada: sempre, alla méta incontrerete Iddio!

Non dunque dal punto di vista religioso, ma piuttosto dal punto di vista scientifico le difficoltà contro la cosmogonia proposta si sollevarono serie. Prescindiamo dalle obiezioni suggerite dal movimento *retrogrado* dei satelliti di Urano e Nettuno, e dai movimenti dei satelliti di Marte, *troppo rapidi* in confronto del periodo

di rotazione del pianeta, obiezioni che da tanti (Roche, Faye, De Ligondès ecc.) ebbero risposte davvero vittoriose; ma intanto, pure della nebulosa primitiva possiamo noi formarcene un'idea? Le nebulose planetarie, di cui diremo in seguito, ce ne possono forse rappresentare la forma, ma la costituzione no, e *questa rimane ancora nel puro dominio del romanzo e della fantasia!* (Wolf).

Nonostante queste difficoltà, l'ipotesi di Laplace incontrò il favore di molti studiosi e del pubblico colto; finchè, proprio in questi ultimi tempi, non è stata eclissata dalle nuove idee, verso le quali si orientarono gli astronomi.

A somiglianza degli astri, le teorie nostre subiscono perturbazioni, urti e dissolvimento: soltanto la parola di Dio, fonte di luce e di vita, rimane immutata al di sopra di un Universo che passa.

CAPITOLO VIII.

Le stelle

—

1. *Parallasse delle stelle.* — 2. *Temperatura.* — 3. *Dimensioni.* — 4. *Distribuzione apparente delle stelle.* — 5. *Classificazione degli spettri stellari.* — 6. *Stelle variabili.* — 7. *I satelliti delle stelle.* — 8. *Stelle multiple.* — 9. *Vita delle stelle.*

1. — Parallasse delle stelle. — La nostra fantasia si smarrisce quando discutiamo il problema delle distanze delle stelle che da tre secoli tormenta gli astronomi, ed oggi pure non è risolto che in piccola parte e con deboli approssimazioni.

La nostra Terra è un nulla, è un punto impercettibile nello spazio, e si è compreso che non si poteva dar base a triangolazioni per le distanze dei Soli: come base si è preso il semiasse maggiore (e da alcuni l'asse maggiore) dell'orbita terrestre, e **parallasse stellare** e **parallasse annua** di una stella si è detto il valore angolare, sotto il quale da questa stella è visto il semiasse (o l'asse) maggiore della nostra orbita.

Il raggio medio dell'orbita terrestre, si è chiamato **unità astronomica.**

Supponiamo che una stella si trovi ad una distanza tale che da essa si veda il raggio medio dell'eclittica sotto un angolo di 1″; diremo che la stella si trova alla distanza di un **parsec** (1) (parallasse secondo). Richiamando quanto abbiamo detto in principio del capitolo V, il parsec è adunque eguale a 206265 raggi dell'orbita terrestre, ossia circa 31 trilioni di chilometri. La distanza di una stella, espressa in parsecs, è uguale all'inversa della sua parallasse espressa in secondi.

Un'altra unità per le misure delle distanze stellari è l'**anno di luce,** e cioè lo spazio percorso dalla luce in un anno. Abbiamo già avuto occasione di servirci di questa unità.

---

(1) Il **parsec** fu introdotto da H. Turner.

Un parsec corrisponde ad anni di luce 3,25, ed un anno di luce equivale a parsecs 0,31, e a circa 9 trilioni e mezzo di chilometri.

Armati di tutte queste unità accingiamoci alla misura delle distanze.

Prendendo come base il diametro medio dell'eclittica, gli astronomi lavorarono per due secoli e mezzo, alla ricerca delle distanze stellari, ma i risultati furono così sconfortanti, che Lalande e Bailly giudicavano insolubile il problema. Soltanto nella prima metà del decorso secolo Struve (1835-38) e Bessel (1837-40) poterono ottenere la misura della distanza di qualche stella servendosi di un metodo che già era stato suggerito da Galileo. Per comprenderlo guardate la fig. 93. — S è il Sole, E e D due stelle, delle quali, supponiamo la D (piccola) di molto più lontana della E. Per effetto di prospettiva, noi proiettiamo ambedue queste stelle sulla volta del cielo; ma mentre la D, perchè lontanissima, su questa volta la proiettiamo in un punto apparentemente costante D′, la E noi la proietteremo invece in G od in F, secondo che la guarderemo da A o da B, punti opposti della nostra orbita, a 6 mesi di distanza. La stella E non si troverà dunque sempre alla stessa distanza da D sulla volta del cielo, e la variazione di questa distanza, misurata dall'arco GF, determinerà il valore dell'angolo GEF=BEA, che esprimerà appunto il doppio (o, se si considera il diametro, il valore) della parallasse cercata. Se la stella D fosse assolutamente fissa sulla sfera celeste la parallasse si chiamerebbe **assoluta,** ma siccome anche D descrive la sua piccola ellisse, la parallasse BEA è una parallasse **relativa** che si trasformerebbe in assoluta quando si fosse trovato il centro dell'ellisse descritta da D sulla sfera celeste. Bessel, considerato a ragione come l'Ipparco del secolo XIX, scelse assai opportunamente per una prima applicazione di questo metodo la 61 del Cigno [1], giudicandola giustamente una delle più vicine: la pose a confronto con due stelline, una di 9ª, l'altra di 10ª grandezza, con le quali formava un triangolo rettangolo: la osservò e misurò 402 volte dal 1837 al 1840, e ne dedusse infine per la parallasse il valore di 0″,348. Trovata la via, molti si avanzarono a percorrerla, e nelle mani di Pritchard (1888) la fotografia entrava poi ad aiutare efficacemente queste ricerche,

Fig. 93.

[1] Vedi Tav. IV e Tav. V. linea delle ore 21

prestando facili e moltiplicate le misure delle distanze *relative* delle stelle su clichés presi a 6 mesi di distanza, sicchè l'Henderson poteva dopo tentare sulle stelle più vicine, e pare con buoni risultati, anche le misure delle parallassi assolute.

Nessuna stella, per quanto si sappia, ha la parallasse di 1″: la più vicina, α Centauro, ha quella di 0″,75: potete dunque subito conchiudere che tutte le stelle sono ad una distanza da noi certamente superiore a 206000 volte il raggio dell'orbita terrestre! Vorreste voi computare queste distanze in km.? No di certo. Ed eccoci allora ridotti ad usare, come unità di misura, o il parsec o gli anni di luce, e a determinare in questo caso le diverse distanze con il numero degli anni impiegati dalla luce per venire da una stella a noi.

Nei seguenti prospetti riportiamo gli elementi di alcune stelle, quali sono stati pubblicati dal Calendario del R. Osservatorio Astronomico del Campidoglio per l'anno 1927. Dalle parallassi ivi contenute abbiamo dedotto le distanze espresse in ognuna delle tre unità definite precedentemente.

Al *metodo trigonometrico* si è aggiunto oggi un *metodo fisico* per determinare la parallasse delle stelle. Abbiamo veduto con quale successo l'ottica fisica venisse in soccorso degli studi sul Sole; le linee spettrali aiutarono a conoscere i movimenti e le pressioni dei corpi che si muovono nell'atmosfera solare, e vedremo fra poco lo spettroscopio divenire, nello studio delle stelle, necessario quanto il canocchiale.

Ecco come fu sfruttato in questo speciale problema: le stelle di cui si è potuto misurare la distanza, si sono classificate in vari gruppi – come sarà detto in seguito. – Sottoponendo all'analisi spettrale quelle di uno stesso gruppo si è constatato che le loro linee spettrali non si affievoliscono nè si rinforzano tutte con una stessa legge, quando l'astro è ad una distanza maggiore o minore. A varie distanze corrispondono diversi aspetti dello spettro. Di ciò possiamo renderci una certa ragione col richiamare fenomeni lontanamente analoghi.

Quando una parte della crosta terrestre è scossa da un terremoto, gli strati superficiali del nostro pianeta trasmettono vibrazioni di varia lunghezza; le oscillazioni brevi si propagano con velocità maggiore di quelle lunghe, sicchè nel viaggio si separano le une dalle altre; e la distanza di tempo che separa l'arrivo delle due specie di vibrazioni sul registratore di un sismografo ci dà un primo criterio per giudicare della distanza del centro sismico. Di questo fenomeno i lettori hanno sentito parlare più di una volta in occasione di terremoti; e ne possono dedurre che i moti vibratori si trasmettono in modo differente a seconda dei corpi che traversano e delle loro lunghezze d'onda.

Applichiamo questo concetto alla luce, che si pensa trasmessa sotto forma di oscillazioni. Un raggio luminoso, nel percorso di un anno-luce, troverà da traversare minor quantità di materia cosmica che non in 30 o in 100 anni-luce; e gli assorbimenti che subiranno le ondulazioni che lo costituiscono saranno differenti. È prevedibile che il variare dello spettro possa essere un criterio per giudicare della distanza di una stella.

Gli astronomi del Mt. Wilson hanno costruito per ogni gruppo di stelle un diagramma che rappresenta le variazioni delle linee spettroscopiche alle diverse distanze. Si è supposto che le stelle di cui non si conosce la distanza presentino allo spettro variazioni che si possano rappresentare col diagramma già costruito, e così, per estrapolazione si è dedotta la distanza presumibile di molte stelle.

Ciò non ostante, gli Osservatori continuano ad adoperare i grandi strumenti per la determinazione fotografica delle parallassi col metodo trigonometrico: l'Osservatorio Leander McCormick pubblicò un volume contenente la parallasse di 260 stelle, l'Osservatorio di Allegheny diede la parallasse di 185 stelle, l'Osservatorio Yerkes pubblicò una lista di 52 parallassi. L'errore probabile delle determinazioni delle parallassi è di circa 0",009. Le parallassi trigonometriche di 194 stelle, ottenute all'Osservatorio Leander McCormick, confrontate con quelle spettroscopiche determinate con il metodo di Adams e Hertzsprung, dimostrano un accordo assolutamente notevole tra i risultati dei due metodi, sì differenti come principio; in generale le parallassi spettroscopiche sono un po' più grandi delle parallassi trigonometriche, l'eccesso per altro non passa 0", 0006 [1].

Allorchè un raggio ci colpisce l'occhio, pensiamo che esso, della sua stella, ci narra non quello che è ma quello che fu, e quello che fu non ieri, ma 10, 20..., 100 anni fa! — Se vi piace, sostituite agli anni di luce gli anni *telegrafici*, come propose il Ball. Un telegramma spedito dalla Terra ad α Centauro non vi arriverebbe che dopo 4 anni, e stelle vi sono nella profondità degli spazi, che non avrebbero ancora ricevuta la notizia della nascita di N. S. G. C. che fosse stata telegrafata 1900 anni fa! E allora, si domanda, quali saranno i confini dell'Universo? Confine vi è, *ma cela lui l'esser profondo*. Sopra alcune areole di cielo canocchiali di *diversa* potenza hanno constatato il *medesimo* numero di stelle: forse su quella direzione essi avevano dunque scoperte tutte le stelle collocatevi da Dio e raggiunto con questo i confini dello spazio? Può essere:... Ma non potrebbe essere ancora che là i nostri canocchiali nulla avessero incontrato, solo perchè stelle immensamente più lontane non vi erano peranco

[1] Vedi *Bull. Soc. Astr. de France*, août 1921.

	NOME DELLE STELLE	Grandezza	Ascensione retta per il 1927,0	Declinazione per il 1927,0	Parallasse	Distanza in Parsecs	Distanza in anni luce	Distanza in migliaia di raggi dell'orbita
			h m s	° ′ ″				
α	Andromeda (Alpherat)	2,15	0 4 37	+ 28 41 15	0,060	16,7	54,2	3487,8
β	Cassiopea (Chaf)	2,42	0 5 16	+ 58 44 50	0,082	12,2	39,6	2515,5
γ	Pegaso (Algenib)	2,87	0 9 28	+ 14 46 40	0,082	12,2	39,6	2515,5
β	Idra	2,90	0 21 57	— 77 39 55	0,134	7,5	24,3	1539,3
α	Cassiopea (Sedir)	2,47	0 36 21	+ 56 8 14	0,023	43,5	141,3	8968,3
γ	Cassiopea (Inorab)	2,25	0 52 17	+ 60 19 18	0,022	45,5	147,7	9375,8
β	Andromeda (Mirach)	2,37	1 5 38	+ 35 14 2	0,058	17,2	56,0	3556,4
α	Eridano (Achernar)	0,60	1 35 0	— 57 36 26	0,043	23,3	75,6	4796,9
α	Ariete (Hamal)	2,23	2 3 3	+ 23 7 5	0,029	34,5	112,1	7111,0
β	Triangolo	3,08	2 5 12	+ 34 38 34	0,006	166,7	541,2	34378,0
α	Balena (Menkaf)	2,82	2 58 28	+ 3 48 15	0,022	45,5	147,7	9375,9
β	Perseo (Algol)	Var.	2 3 25	+ 40 40 32	0,020	50,0	162,5	10313,0
α	Perseo (Mirfak)	1,90	3 19 6	+ 49 37 0	0,016	62,5	203,1	12892,0
α	Toro (Aldebaram)	1,06	4 31 44	+ 16 21 50	0,070	14,3	46,3	2947,2
ι	Cocchiere	2,90	4 52 14	+ 33 3 7	0,025	40,0	130,0	8265,9
ε	Cocchiere	Var.	4 56 44	+ 43 43 1	0,060	16,7	54,2	3437,8
β	Eridano	2,92	5 4 16	— 5 10 47	0,022	45,5	147,7	9375,8
β	Orione (Rigel)	0,34	5 10 2	— 8 17 5	0,007	142,9	464,3	29467,0
α	Cocchiere (Capella)	0,21	5 11 18	+ 45 55 32	0,075	13,3	43,3	2750,2
γ	Orione (Bellatrice)	1,70	5 21 13	+ 16 17 5	0,029	34,5	112,1	7112,6
β	Toro (Math)	1,78	5 21 41	+ 28 32 50	0,005	200,0	650,0	41253,0
β	Lepre	2,96	5 25 7	— 20 49 0	0,042	23,8	77,4	4911,1
δ	Orione (Mintaka)	2,48	5 28 17	— 0 21 7	0,082	12,2	39,6	2515,5
α	Lepre (Arneb)	2,69	5 29 31	— 17 52 25	0,014	71,4	232,1	14733,0
ε	Orione (Alnilam)	1,75	5 32 31	— 1 14 50	0,058	17,2	56,0	3556,4
κ	Orione	2,20	5 44 18	— 9 41 40	0,027	37,0	120,4	7639,6
α	Orione (Betelgeuse)	0,92	5 55 13	+ 7 23 41	0,030	33,3	108,3	6875,6
β	Cocchiere (Menkalinan)	2,07	5 54 10	+ 44 56 30	0,034	29,4	95,6	6066,7
μ	Gemelli	3,19	5 18 33	+ 22 33 9	0,030	33,3	108,3	6875,6
β	Cane Maggiore (Mirziam)	1,99	5 19 29	— 17 55 7	0,009	111,1	361,1	22919,0
α	Argo (Canopo)	0,86	6 22 20	— 52 39 19	0,007	142,9	464,3	29468,0
γ	Gemelli (Alhena)	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]

α	Cane Maggiore (Sirio)	1,58	6 41 56	— 16 36 54	0,309	3,2	10,5	667,5
ε	Cane Maggiore (Adara)	1,63	6 55 45	— 28 52 18	0,020	50,0	162,5	10313,0
η	Cane Maggiore	2,43	7 21 12	— 29 9 35	0,055	18,2	59,1	3750,3
α	Cane Minore (Procione)	0,48	7 35 29	+ 5 24 48	0,307	3,3	10,3	671,9
β	Gemelli (Polluce)	1,21	7 40 51	+ 28 12 14	0,064	15,6	50,8	3221,9
α	Leone (Regolo)	1,34	10 4 29	+ 12 19 28	0,033	30,3	98,5	6250,6
β	Orsa Maggiore (Merak)	2,44	10 57 27	+ 56 46 27	0,136	7,3	23,9	1516,6
α	Orsa Maggiore (Dubhè)	1,95	10 59 14	+ 62 8 43	0,037	27,0	87,8	5574,8
β	Leone (Denebola)	2,23	11 45 20	+ 14 58 49	0,040	25,0	81,2	5156,7
γ	Orsa Maggiore (Phegda)	2,54	11 50 0	+ 54 6 2	0,043	23,3	75,6	4796,9
α	Croce	1,58	12 22 33	— 62 41 42	0,055	18,2	59,1	3750,4
ε	Orsa Maggiore (Alioth)	1,68	12 50 49	+ 56 21 21	0,054	18,5	60,2	3819,8
ε	Vergine (La vendemmiatrice)	2,95	12 58 33	+ 11 21 4	0,034	29,4	95,6	6066,7
α	Boote (Arturo)	0,24	14 12 19	+ 19 33 42	0,075	13,3	43,3	2750,3
β	Orsa Minore (Kocab)	2,24	14 50 54	+ 74 27 14	0,048	20,8	67,7	4297,2
β	Bilancia (Kiffa)	2,74	15 13 5	— 9 6 53	0,005	200,0	650,0	41253,0
α	Corona Boreale (Gemma)	2,31	15 31 36	+ 26 57 34	0,054	18,5	60,2	3819,8
α	Serpente (Unukalhai)	2,75	15 40 40	+ 6 39 15	0,030	33,3	108,3	6875,6
δ	Scorpione	2,54	15 56 1	— 22 24 55	0,006	166,7	541,7	34378,0
η	Dragone	2,89	15 16 23	+ 61 40 45	0,040	25,0	81,2	5156,7
α	Scorpione (Antares)	1,22	16 24 56	— 26 16 17	0,030	33,3	108,3	6875,6
β	Ercole	2,81	16 27 5	+ 21 38 51	0,118	8,7	27,5	1748,1
ζ	Ofiuco	2,70	16 33 8	— 10 25 14	0,052	19,2	62,5	3966,7
α	Ofiuco (Rasalaghe)	2,14	17 31 33	+ 12 36 43	0,127	7,9	25,6	1624,2
β	Ofiuco	2,94	17 39 52	+ 4 35 47	0,018	55,6	185,5	11460,0
γ	Dragone (Etanim)	2,42	17 54 55	+ 5 29 48	0,015	66,7	216,7	13751,0
ε	Sagittario (Kaus Aust.)	1,95	18 19 20	— 34 25 14	0,081	12,3	40,1	2546,5
λ	Sagittario	2,94	18 23 28	— 25 27 49	0,069	14,5	47,1	2989,4
α	Lira (Vega)	0,14	18 34 28	+ 38 42 53	0,114	8,8	28,5	1809,4
σ	Sagittario (Alsadirah 2a)	2,14	18 50 44	— 26 23 20	0,072	13,9	45,1	2864,8
ζ	Sagittario	2,71	18 57 58	— 29 59 9	0,115	8,7	28,3	1793,7
γ	Cigno (Sadr)	2,32	20 19 36	+ 40 1 20	0,072	13,9	45,1	2864,8
ε	Cigno	2,64	20 43 15	+ 33 41 46	0,016	62,5	203,1	12892,0
α	Cefeo (Alderamin)	2,60	21 16 50	+ 62 16 33	0,084	11,9	38,7	2455,6
ε	Pegaso (Enif)	2,54	21 40 36	+ 9 32 22	0,041	24,4	79,3	5031,0
β	Pegaso	2,61	23 0 14	+ 27 41 11	0,055	18,2	58,3	3698,9
α	Pegaso (Marcab)	2,57	23 1 7	+ 14 48 44	0,036	27,8	90,3	5729,7

arrivate con i raggi, per difetto di tempo o per mancanza di trasparenza degli spazi?

2. — Temperatura delle stelle. — Abbiamo detto al Cap. VI, § 1, lettere *f* ed *h* che l'analisi spettrale delle sorgenti luminose rivela col variare delle linee spettrali, il variare delle temperature, e il Painlevé diceva in una conferenza tenuta alla Sorbona il 14 giugno 1922:

« La disposizione delle righe dello spettro varia leggermente, conservando pure il suo aspetto generale, quando la temperatura del corpo si eleva, quando la sua densità diminuisce. Ne avviene che se si fotografa un certo numero di spettri di un medesimo gas, corrispondente a temperature ed a pressioni diverse che si conoscano, e se d'altra parte ci vien presentata una fiamma di cui nulla si sa se non ch'è una fiamma di sodio, basta proiettare il suo spettro sullo schermo, e senza conoscere la sua temperatura nè la sua pressione, sarà sufficente paragonare il suo spettro alle fotografie ottenute prima nel laboratorio, per dire con certezza: il gas di cui si ha sott'occhio lo spettro, è alla tal temperatura e alla tale pressione ».

Si è applicato anche alle stelle la legge del Wien che ci ha servito per determinare la temperatura del Sole: certo la regione di massima intensità che serva a misurare la temperatura assoluta si determina più difficilmente, ma ci si arriva, ed ecco un prospetto nel quale si è chiamata **onda dominante** quella che dà origine alle righe di massima intensità.

In quest'ultimi anni gli astronomi hanno trovato più comodo di servirsi di una legge data dal *Planck* sulla *distribuzione dell'energia nello spettro.*

Il Planck infatti ha mostrato che, variando la temperatura assoluta, varia anche la proporzione con cui i colori elementari (p. es. rosso, azzurro ecc.) sono contenuti nello spettro; e viceversa dall'esame di questa proporzione il Planck ha insegnato a dedurre la temperatura della sorgente.

Ciò posto il *Nordmann* ha costruito un fotometro *(fotometro eterocromatico)* col quale si determina rapidamente la temperatura stellare. Esso è costituito da un semplice fotometro ordinario, munito di filtri di luce; si misura lo splendore della stella col filtro rosso, poi lo stesso splendore col filtro azzurro ecc. e dal confronto se ne ricava la temperatura.

3. — Dimensioni delle stelle. — La classificazione delle stelle secondo la loro grandezza è antica, eppure si è imposta anche dopo

i recenti progressi, modificandosi leggermente nei termini di confronto. Anzi, con la stessa nomenclatura si è introdotta la definizione di grandezza assoluta, e si è chiamata **grandezza assoluta** di una stella lo splendore apparente che assumerebbe questa se fosse portata alla distanza di 10 parsecs, ossia anni di luce 32,5.

Nome delle Stelle	Onda dominante	Temperatura
ζ Persei	μ = 0,1058	27700°
φ Pegasi	» 0,1332	22000°
β Arietis	» 0,1646	17800°
γ Cassiopeiae	» 0,2123	13800°
δ Cassiopeiae	» 0,2289	12800°
α Andromedae	» 0,2817	10400°
α Ursae Minoris (Polare)	» 0,3573	8200°
α Persei	» 0,3662	8000°
α Bootis (Arturo)	» 0,4578	6400°
β Cassiopeiae	» 0,4726	6200°
α Arietis	» 0,5052	5800°
α Cassiopeiae	» 0,5327	5500°
κ Persei	» 0,6234	4700°
β Andromedae.	» 0,6783	4300°
α Tauri (Aldebaran). . .	» 0,8139	3600°
μ Geminorum	» 0,9156	3200°
η Geminorum	» 0,9607	3050°

Dalla grandezza di una stella si può arrivare a calcolarne lo splendore. Si chiama **splendore** di un corpo uniformemente luminoso, il rapporto fra la quantità di luce che emette e la sua superfice o, in altre parole, la quantità di luce emessa dalla unità di superfice. Non si è potuto affrontare direttamente il problema, ma ci siamo dapprima contentati di studiare lo *splendore apparente* (vedi pag. 5) quale cioè si presenta alla nostra immediata osservazione, stabilendo i criteri seguenti:

a) Lo splendore apparente di una stella di una determinata grandezza è eguale a quello di una stella della classe che la segue immediatamente moltiplicato per 2,5 (v. pag. 4): o a quello d'una stella della classe che immediatamente la precede diviso per 2,5. L'ordine di grandezza delle stelle procede in progressione aritmetica e gli

splendori apparenti che loro corrispondono, in progressione geometrica.

b) Se si rappresentano con G e g le grandezze di due stelle e con S e s i loro splendori apparenti, dalla definizione precedente si deduce con semplici passaggi, la formula:

$$G - g = 2{,}5 \log (s:S)$$

chiameremo questa, formula di Pogson.

c) S'includa anche il Sole nella scala delle grandezze stellari; per trovargli un posto bisognerà prolungare la scala al di là dello 0 fra i numeri negativi, e gli toccherà il posto —26,7. Il rapporto (o quoziente) dello splendore apparente del Sole a quello di una stella di 1ª grandezza, è circa 12 decine di bilioni, mentre la grandezza assoluta del Sole è 5,0.

d) Con la formula di Pogson si possono costruire delle tavole dei vari splendori apparenti delle stelle, confrontate tutte con una sola di esse. I numeri di una tavola così costruita darebbero le intensità luminose apparenti, confrontate colla medesima stella di riferimento.

Le 1200 stelle di cui si conosce la distanza si potrebbero immaginare trasportate tutte a 10 parsecs: e calcolando quanto diverrebbe allora l'intensità della luce che esse ci inviano, si avrebbe un prospetto delle loro grandezze assolute, quali le abbiamo definite poco fa. Ecco il primo passo verso la soluzione del problema.

Se avessimo conosciuto la distanza e le dimensioni delle stelle, da questi risultati avremmo potuto dedurne lo splendore assoluto; ma la via era sbarrata e fu necessario l'intervento dell'astrofisica per supplire ai difetti dell'astromeccanica.

e) Gli studi sull'energia raggiante hanno provato che lo splendore d'un corpo incandescente aumenta con la temperatura e, secondo la legge di Stefan, è proporzionale alla 4ª potenza delle temperature assolute [1].

Stabilite le temperature assolute di alcune stelle, se ne sono dedotti gli splendori assoluti, e si son confrontati con quelli apparenti. Come termine di confronto si è preso il Sole dopo averlo classificato fra le stelle nel modo detto al capoverso *c*).

Il Sole è un'unità di misura molto incomoda: per gli splendori stellari sarebbe come un voler misurare oggetti microscopici con un'asta lunga un chilometro; ma d'altra parte essendo il Sole la stella meglio conosciuta, non si potè fare a meno di prenderlo come punto di partenza.

---

(1) Vedi cap. VI, § 10.

Nel seguente prospetto si trovano gli splendori apparenti e reali di alcune stelle: la colonna A contiene lo splendore apparente della stella confrontato con un trilionesimo di quello solare, ossia l'intensità della luce della stella che arriva a noi, confrontandola con un trilionesimo di quella che arriva a noi dal Sole: la colonna B contiene lo splendore assoluto della stella, ossia l'intensità luminosa sull'unità di superfice della stella in confronto dell'intensità sull'unità di superfice del Sole.

NOME	A	B
α Orione (Betelgeuse)	9,1	$\frac{1}{50}$
α Bifolco (Arturo)	17,4	$\frac{1}{35}$
α Scorpione (Antares)	6,9	$\frac{1}{280}$

Abbiamo detto che la conoscenza delle dimensioni di una stella ci doveva aiutare a calcolarne lo splendore assoluto; invece avvenne l'inverso: si potè prima calcolare lo splendore di una stella, e da questo dedurre il diametro apparente dell'astro.

Già, fin da quando si conoscevano soltanto le intensità luminose apparenti, si cominciò a confrontare la luce che avrebbe emessa il Sole, se fosse stato portato alla distanza di una determinata stella, con la luce che questa emetteva. La cosa era facile, perchè sappiamo che lo splendore apparente dei corpi luminosi è inversamente proporzionale ai quadrati delle loro distanze. Si suppose che la stella avesse lo stesso splendore assoluto del Sole e si disse: gli splendori apparenti saranno proporzionali alle aree dei due astri e le loro radici quadrate dovranno essere proporzionali ai diametri apparenti.

Si assegnò in questo modo alla stella, un certo diametro che si chiamò **diametro equivalente.** L'ipotesi che la stella avesse lo splendore del Sole era fittizia, ma per allora non se ne potevano fare altre; quando poi furon trovati gli splendori assoluti delle stelle, delle quali si conosceva già la distanza, ci trovammo di fronte alla soluzione di un facile problema di regola del tre. Furono calcolati gli angoli sotto cui si vedono le principali stelle e fu considerato questo, come un grande passo compíto dall'astronomia, nel secondo decennio di questo secolo.

Per intenderci meglio, applichiamo questo procedimento ad α Orione, Betelgeuse. Essa è distante da noi circa 6,8 milioni di volte la nostra distanza dal Sole [1]. Trasportate là il Sole; esso ci invierà un raggio, la cui intensità luminosa è quella della luce che ci fa arrivare attualmente il Sole, divisa per il quadrato della distanza di Betelgeuse. Il quadrato di questa distanza (6,8) espresso in trilioni di raggi dell'eclittica, diventa 46,2.

L'intensità della luce solare, in questa ipotesi, è ridotta a $\frac{1}{46,2}$ di quel trilionesimo, che ha servito come unità di misura per costruire i valori della colonna A. In questa colonna troviamo che l'intensità della luce che ci viene da Betelgeuse è 9,1. Quindi: quante volte è più intensa di quella del Sole portato alla di lei distanza? Risposta: $9,1 : \frac{1}{46,2} = 420,4$. — Se Betelgeuse avesse lo stesso splendore assoluto del Sole, la sua superfice dovrebbe essere circa 420 volte più grande di quella del Sole, ed il suo diametro (o il suo raggio), in cifre tonde 20 volte più grande del diametro (o del raggio) del Sole, perchè la radice quadrata di 420 è 20 a meno di un intero. Questo sarebbe il diametro (o il raggio) *equivalente* di Betelgeuse. Progredite le ricerche, si potè attribuire con una certa sicurtà un valore allo splendore assoluto della stella. La colonna B contiene dei valori che ammettono delle oscillazioni in più o in meno, e si potrebbero impunemente o moltiplicare per 2 o dividere per 2. Prendendo intanto il valore di 1/50, si comprende che la *superfice equivalente* di questa stella debba essere resa 50 volte più grande, per compensare la povertà del suo splendore. Il raggio equivalente dovrà esser reso, per conseguenza, 7 volte più grande, essendo 7 la radice quadrata di 50, a meno di un'unità; se si fosse preso come rapporto dello splendore assoluto della stella a quello del Sole, $\frac{1}{25}$ si sarebbe dovuto poi moltiplicare il 20 per 5, e si sarebbe ottenuto per la stella un raggio centuplo di quello del Sole; prendendo infine l'altro estremo dello splendore assoluto attribuito a Betelgeuse, cioè un centesimo, si sarebbe dovuto moltiplicare il raggio equivalente per 10, e si sarebbe ottenuto il valore attribuitogli da Russel [2]. — Ricordando che la distanza della Terra dal Sole è uguale a 108,56 raggi solari, se ne deduce che il diametro di Betelgeuse dev'essere compreso all'incirca fra questa distanza (Terra-Sole) e il suo doppio. La stella portata al centro del sistema solare, comprenderebbe, nel

---

(1) Vedi tabella delle distanze.

(2) V. Lange, *Les dimensions des étoiles* in *Revue des Questions Scientifiques*, S. IV, t. II, ottobre 1922.

suo interno, le orbite di Mercurio, di Venere, della Terra e di Marte; il suo limite sarebbe all'incirca compreso fra quest'ultima e l'orbita degli asteroidi. — Ci si domanderà: come mai questi limiti così elastici? e come mai avete più e più volte arrotondato i risultati delle operazioni? Rispondiamo che siamo agli inizi di questo genere di ricerche e non si può pretendere una grande approssimazione. I risultati non arrotondati avrebbero stancato più facilmente il lettore, senza farci concludere qualche cosa di più. È già un bel progresso il poter accertare che il rapporto dello splendore assoluto di una stella a quello del Sole, è dell'ordine dei decimi piuttosto che dei centesimi; dei centesimi anzichè dei millesimi ecc., e questa determinazione è ormai assicurata. Gli studi ulteriori daranno una maggior fissità alle cifre dell'ordine accertato.

Questo metodo fisico per misurare i diametri delle stelle venne applicato a più di 1000 stelle, scriveva Adams nel 1918, e la precisione dei risultati sembra essere dello stesso ordine della precisione fornita dopo, dalle misure dirette; esso ha il vantaggio di essere applicabile alle stelle di parallasse piccolissima e probabilmente troverà la sua applicazione più importante in questo caso.

Per altro, la via classica per misurare una stella è di determinare l'angolo sotto il quale è veduto il suo diametro: questo, diviso per l'angolo sotto il quale dalla stella è veduto il semiasse maggiore (parallasse) dell'eclittica, dà la misura del diametro stellare espressa approssimativamente in distanze Terra-Sole.

Gli astronomi hanno salutato, con la speranza dei migliori successi nella misura dei diametri stellari, un nuovo strumento chiamato **l'interferometro;** per comprenderne il funzionamento richiamiamo alcune nozioni dalla fisica.

1° Sia S un punto luminoso che emette luce di un solo colore, e si trovi sull'asse di simmetria della figura 94: i raggi che partono da S trovano in α un piano (perpendicolare al piano della figura) nel quale sono praticate due finissime fenditure rettangolari M ed N (esse pure perpendicolari al piano della figura); il punto di mezzo fra le due fenditure sia O. Al di sotto del piano α si trova un altro piano β. Dei raggi provenienti da S, soltanto quelli che arrivano alle due fenditure M ed N potranno diffondersi in tutti i sensi nello spazio compreso fra α e β.

I raggi luminosi sono costituiti da onde, e quelli che s'incontrano in O′ sul piano β hanno le loro onde nella medesima fase; tanto il raggio passato da M quanto quello passato da N hanno percorso vie egualmente lunghe; dunque in O′ i loro effetti si sommeranno. Non soltanto i raggi che percorrono queste vie s'incontrano con le onde nella stessa fase; ma anche tutti quelli i cui percorsi, al momento del loro incontro, differiscono di un numero pari di mezze lunghezze di onda. Per rendere il fenomeno tangibile, abbiamo rappresentato sulla fig. 94 quattro raggi compresi fra i piani α e β, e vi abbiamo disegnato le loro onde rese circa 30 mila volte più grandi del vero. La prima fase dell'onda è rappresentata da mezzo ramo di sinusoide ripieno con linee punteggiate, la seconda fase con l'altro ramo di sinusoide, vuoto.

Il disegno non ha lo scopo di rappresentare le vibrazioni (dell'etere) in se stesse, ma solo di aiutare a distinguere la prima metà dalla fase della seconda.

Il raggio ML arriva al piano β dopo cinque lunghezze d'onda, e il raggio NL lo incontra in L dopo 3 lunghezze d'onda: al loro incontro i due raggi si trovano nella medesima fase, ed i loro effetti si sommano. Invece il raggio NP arriva in P dalla fenditura N dopo aver percorso 4 lunghezze d'onda mentre dall'altra fenditura vi arriva il raggio MP dopo aver percorso tre lunghezze d'onda e mezzo.

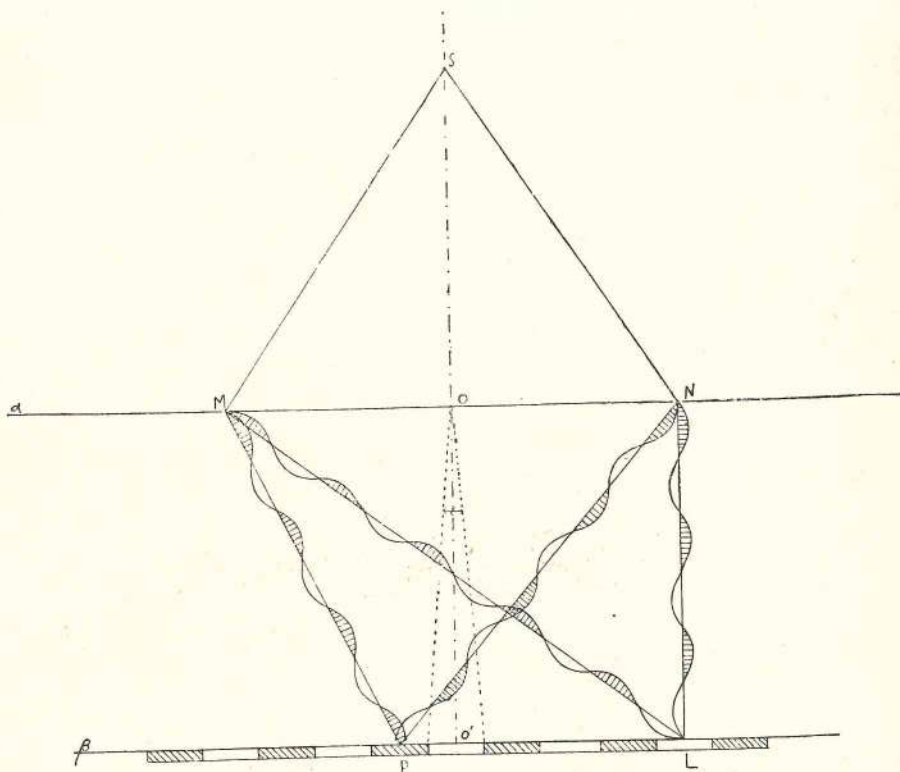



Fig. 94.

Mentre per l'uno incomincia in P la prima fase, per l'altro incomincia la seconda: fenomeno reso evidente dai due archi, uno rigato e l'altro no. Questo fatto avviene tutte le volte che i percorsi dei due raggi differiscono fra loro di un numero dispari di mezze lunghezze d'onda. Che accade allora? gli effetti dei due raggi si neutralizzano, le loro onde *interferiscono,* ed il piano β, in loro corrispondenza, non si illumina. Si disegna così in P una riga oscura che si chiama *frangia di interferenza,* e si hanno sul piano β delle righe oscure alternate con righe luminose, tutte parallele alle fenditure M ed N. L'incontro delle righe oscure con il piano della figura è rappresentato con rettangoli rigati, e quello delle righe luminose con rettangoli vuoti.

2° Detto ciò che la figura è, aggiungiamo quello che non dovrebbe essere. L'inclinazione dei raggi SM ed SN non dovrebbe essere così pronunziata, cioe

il punto S dovrebbe trovarsi molto lontano. I raggi che s'incontrano sul piano β dovrebbero fare fra loro dei piccoli angoli. Abbiamo detto precedentemente dell'esagerazione che è stata data alla lunghezza d'onda, ed ora aggiungiamo che si passa da una frangia oscura ad una luminosa quasi insensibilmente e non con un tratto deciso come è disegnato su β, fra un rettangolo pieno ed uno vuoto.

3° Sia ε l'angolo sotto cui si vede dal punto O la lunghezza l del rettangolo vuoto che rappresenta la striscia luminosa che passa per O'; dalla trigonometria si ha:

$$\tan\frac{\varepsilon}{2} = \frac{l}{2OO'}$$

e siccome in quello che segue ε è sempre minore di 1″, si può sostituire alla tangente l'arco e scrivere:

$$\varepsilon = \frac{l}{OO'}$$

ove la misura di ε è data in radianti, cioè ponendo uguale all'unità il raggio dell'arco intercettato dall'angolo. Se si vuole questa misura in minuti secondi si dovranno moltiplicare i due membri per 206264,80, come fu già detto al § 1 del Cap. V; avremo quindi:

$$\eta'' = (\varepsilon \times 206264{,}80)'' = \left(\frac{l}{OO'} \times 206264{,}80\right)''.$$

Ogni colore ha la sua lunghezza d'onda ed il Michelson ha dimostrato che in questo caso η è anche uguale al rapporto fra la lunghezza d'onda luminosa corrispondente al colore di S e la distanza d fra le fenditure MN.

In particolare, si esprima la distanza d in millimetri e si prenda come lunghezza di onda quella che maggiormente impressiona la nostra retina, cioè 55 centomillesimi di millimetro: fatte le operazioni avremo:

$$\eta'' = \frac{113.4}{d} \qquad (1)$$

4° Si passi ora alla fig. 95, per la quale resta fermo quanto abbiamo detto per la fig. 94, medesimi piani α, β, medesime fenditure M ed N, medesimo asse di simmetria OO'.

Qui si suppone dapprima che la sorgente S si sposti in S' in modo che S'O formi un angolo $\frac{\varepsilon}{2}$ con l'asse di simmetria, avendo ε il valore detto precedentemente. Da O si vedono su β le frange spostarsi di un angolo $\frac{\varepsilon}{2}$ come indica il disegno della parte inferiore del piano β, in β'.

Si suppone poi che la sorgente S si porti in S″ dalla parte opposta di S' e simmetricamente al punto S'. Questa volta da O si vedono le frange spostarsi d'un angolo $\frac{\varepsilon}{2}$ su β, ma in senso opposto al precedente: la loro posizione è rappresentata sulla faccia superiore di β in β″. Se si confrontano le frange d'interferenza nella posizione β' con quelle d'interferenza nella posizione β″, si vede

che una riga oscura di β' corrisponde a una riga luminosa di β'', quindi se si accendesse un punto luminoso in S′ ed un altro perfettamente uguale in S″, *sparirebbero su* β *le frange d'interferenza.*

5° Reciprocamente, se si fosse avuto un sistema di frange e, per accensione di un altro punto luminoso, questo sistema di frange fosse scomparso, potremmo pensare che i due punti luminosi sono tali da formare coll'asse di simmetria in O un angolo ε uguale a quello considerato nel numero precedente, oppure un angolo multiplo di ε.

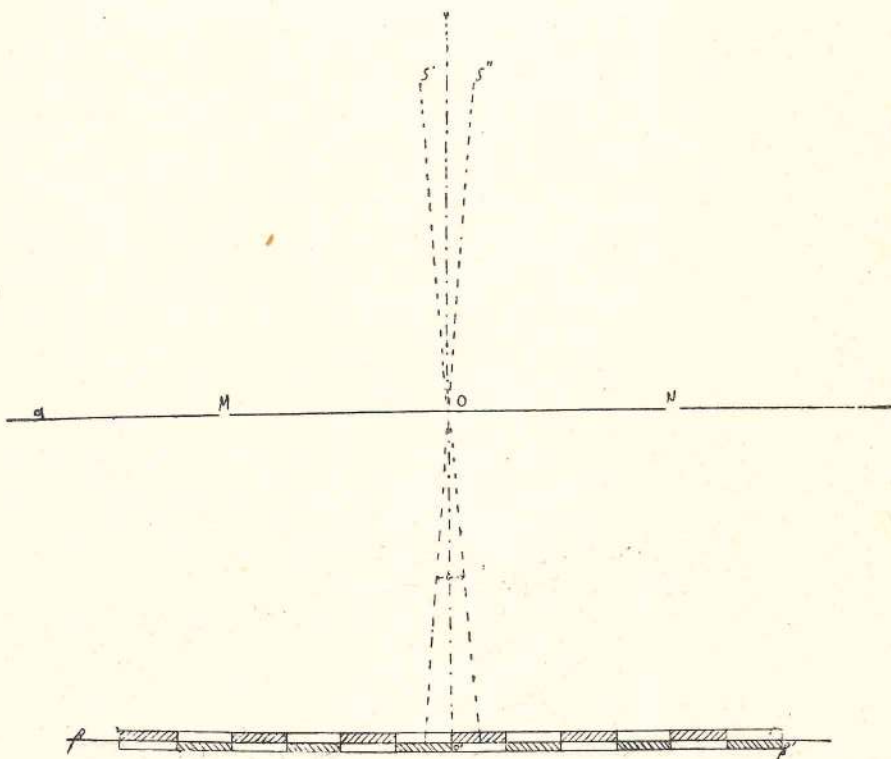



Fig. 95.

S'intravede la possibilità, senza che ci mettiamo qui a spiegarla, di eliminare il multiplo di ε. Come si può misurare quest'angolo ε? con la formula *1)* data precedentemente, se si tratta di luce che abbia la lunghezza d'onda supposta allora, o con una formula analoga, se si tratta di un'altra lunghezza d'onda.

Finora abbiamo supposto che S ed S′ emettessero luci monocromatiche: ma, anche se irraggiano luce bianca, si riesce a fare sparire le frange d'interferenza. Se supponiamo che tra S′ ed S″ sia posto un rettangolo dappertutto egualmente luminoso, non si riesce a eliminare completamente le frange d'interferenza; ma si riesce a passare da un massimo ad un minimo ben discernibili. Lo stesso si dica se S′ ed S″ si trovano agli estremi del diametro di una sfera luminosa, *che*

potrebbe essere il diametro di una stella. Peraltro il Michelson ha dimostrato che in questo caso la misura dell'angolo ε è data dalla formula

$$2) \qquad \eta'' = 1{,}22 \frac{113{,}4}{d}$$

Ripetiamo che ε è l'angolo sotto cui da O si vede tanto la lunghezza di una frangia quanto la distanza S' S'', ed abbiamo dunque tre vie differenti per determinarlo: talvolta sarà più comodo osservare direttamente S' ed S'', tal altra calcolare il rapporto tra la larghezza di una frangia e la distanza fra i piani α e β, (come abbiamo detto al capoverso 3° delle spiegazioni fatte sulla fig. 94), tal altra infine ricorrere alla formula *1)* o *2)*, secondo i casi.

Già nel 1868 in una relazione per il premio Bordin, Fizeau scriveva: « Esiste nella maggior parte dei fenomeni d'interferenza... un legame notevole e necessario fra la dimensione delle frange e quella della sorgente luminosa; dimodochè le frange estremamente sottili si possono ottenere soltanto quando la sorgente luminosa abbia delle dimensioni angolari quasi insensibili; e ci sia permesso d'accennare alla speranza che partendo da questo concetto e formando, per esempio, per mezzo di *due... fenditure* molto lontane una dall'altra, *delle frange d'interferenza, nel fuoco dei grandi strumenti* (con i quali si osservano le stelle), si possa arrivare a dei nuovi dati sui diametri angolari di questi astri ».

Incoraggiato da queste riflessioni, Stefan nel 1873, tentava, all'Osservatorio di Marsiglia, la misura dell'angolo sotto cui si vede Sirio, servendosi di due fenditure distanti fra loro 65 cm., distanza troppo piccola per delle fenditure poste al di fuori dell'apparecchio osservatore.

Nel 1890 veniva pubblicata la teoria completa di queste interferenze, studiata da Michelson, il quale così terminava: « L'applicazione principale del metodo descritto è la misura delle dimensioni apparenti delle sorgenti luminose piccolissime e molto lontane... Se fra le stelle più vicine a noi ce ne fosse una grande quanto il Sole, sottenderebbe un arco di circa un centesimo di secondo, e la distanza a cui si dovrebbero porre le due fenditure (nel nostro disegno, MN) sarebbe di 10 metri ».

Per ottenere questa e distanze maggiori, pure servendosi dei rifrattori già costruiti, Michelson suggeriva di raccogliere con degli specchi i fasci uscenti dalle fenditure ed inviarli nell'obiettivo. Dopo le prove di Michelson a Chicago e di Hamy a Parigi, attraverso difficoltà di vario genere, Anderson riuscì finalmente a costruire il *primo interferometro* sul Mt. Wilson nel 1920. Ben presto ci si avvide che si poteva abolire il sistema degli specchi e *portare le fenditure a distanza regolabile al di dentro del canocchiale* nel fascio di raggi convergenti, in prossimità del fuoco; questa disposizione è così più leggera e precisa e raddoppia il potere risolutivo dello strumento. — Interferometri del tipo Anderson sono stati applicati ai rifrattori di Yerkes, di Lick e di Catania, ed altri sono in costruzione. Un nuovo interferometro stellare è stato ideato da un giovane fisico italiano, il Dott. Vasco Rarchi (1).

Mentre gli astronomi sono intenti alla determinazione dei diametri delle stelle, già furono raccolti i primi risultati, e pubblicati anche su riviste di volgarizzazione. Intanto si è detto che la piccola stella 21185 Lalande, una delle più vicine a noi, sarebbe

(1) Vedi *Rendiconti Accademia dei Lincei*. 1° Semestre 1925, p. 659.

appena più grande di Giove; la 243 Z. V. Cordova, vicina anch'essa, non raggiungerebbe queste dimensioni. Ma Sirio sarebbe una enorme sfera incandescente 12 volte più grande del nostro Sole; Procione, del Cane minore, sarebbe ancor più grande: 16 volte il Sole. Deneb del Cigno, Vega della Lira, Polluce dei Gemelli, sarebbero fari giganteschi, a petto dei quali, il nostro Sole è molto meschino. La stella Capra del Cocchiere sarebbe un globo gigantesco, 5800 volte più grande del nostro Sole. Meravigliosa la stella Canópo che brilla nella costellazione australe del Naviglio; sarebbe la più grande stella conosciuta. Immaginiamo - dice il Moreux, da cui togliamo questi dati - che un gigante mobilizzi nel cielo un'armata di Soli come il nostro, e che a ciascuna ora e successivamente ammucchi nello stesso posto Sole su Sole. Alla fine di un anno egli non avrà messo insieme che 8760 sfere, il cui totale è ancora insignificante di fronte a Canópo; ebbene questo gigante dovrebbe passare quasi tre secoli e mezzo in un lavoro continuo, trasportare nello stesso posto 3 milioni di fornaci ardenti come la prima, per condurre a termine l'impresa incominciata.

È già stata fatta una provvisoria ripartizione delle stelle a seconda delle loro dimensioni: quelle come Betelgeuse, Arturo e Canópo, si sono chiamate stelle *giganti*, e quelle di dimensioni simili alla grandezza del nostro Sole si son chiamate, prosaicamente, stelle *nane*.

Fra le giganti ve ne sono alcune, come, per es., Canópo, che analizzate allo spettroscopio, presentano lo spettro dell'idrogeno, non così vivo come altre stelle, mentre invece presentano le righe del calcio predominanti sulle altre, e tra esse compariscono le righe metalliche del tipo solare. I volumi di queste giganti sono molte centinaia di volte maggiori delle nane: le densità delle stelle giganti sono al contrario di molto inferiori.

4. — **Distribuzione apparente delle stelle.** — Consideriamo le stelle delle 6 prime grandezze come proiettate sopra di una volta solida comune: quale la legge della loro distribuzione apparente? Sulle prime, secondo l'espressione di Milton, si direbbero seminate, come il grano, con mano uniforme, e invece un po' di attenzione rivela anche nei cieli il contrasto di squallidi deserti e di campi lussureggianti. In generale le zone sono tanto più ricche quanto più sono vicine alla *Via Lattea:* la *Via Lattea* è prossimamente l'*equatore della ricchezza stellare,* ed invece i suoi poli, come i poli della Terra, non sono che plaghe sterili e desolate. *Prossimamente,* abbiamo detto, perchè nel fatto la zona di massima densità non è con la Via Lattea in coincidenza perfetta. Osservate il piano della Galassia, cioè della Via Lattea, sulle Tavole I, II, IV, V, VI: per seguire

la linea più ricca di stelle, voi passerete (Tav. VI[a]) da *Sirio* a β dello *Scorpione* con una retta, che taglierà sotto un angolo di 20° il piano galattico in α della *Croce;* e sormontata una lieve interruzione, per mezzo del *Cigno* (Tav. V[a]), di *Cassiopea* e di *Perseo* passerete alle *Plejadi,* alle *Iadi,* ad *Orione,* per riannodarvi col punto donde eravate partiti.

E questa distribuzione approssimativa meglio ancora la dimostrano le stelle telescopiche le quali, in proporzione, nel piano galattico si addensano più delle altre.

Lo scopo più importante dell'astronomia è di conoscere, per quanto è possibile, la composizione dell'Universo dall'esame della volta celeste. Ma il problema è così superiore alle forze di tutti gli Osservatori Astronomici, anche riuniti insieme, che per ora il meglio che si possa fare è di contentarci di semplici scandagli.

Ora come le profondità dei mari non si misurano a palmo a palmo, ma se ne ottengono le medie gettando lo scandaglio a diverse distanze, così anche il grande Herschel per computare le stelle non passò il cielo a palmo a palmo, ma lo divise in zone, e di ciascuna zona determinò la densità media, computando il numero degli astri incontrati su diverse areole di 15′ 4″ di diametro (campo del suo telescopio) con ripetuti esami, ch'egli appunto chiamava *scandagli* o *saggi.* Con 3400 scandagli esaminò 1/250 della volta celeste, e trovò che mentre la densità media delle stelle, per l'unità di area, era di 122 nel piano galattico, scendeva poi subito a 17 sui 30° da questo piano, a 10 sui 45°, a 6 sui 60°, a 4 sui 75°! — Ben inteso che anche lontano dalla Via Lattea vi ha pure qualche plaga ricca e qualche stella viva: ha le sue oasi anche il deserto!

Il *Kapteyn* ha proposto agli astronomi di convergere le loro forze sopra *duecentosei aree scelte opportunamente* nei vari punti della volta celeste *(selected areas)* e ciascuna dell'estensione di *circa un grado quadrato.*

La proposta consistente nello studio accuratissimo delle stelle contenute in queste aree, è stata accettata ed il lavoro è già a buon punto. In questo agitarsi di nuovi studi il concetto dominante è che bisogna portare molto più lontano i limiti dello spazio stellare. Con l'allontanarsi di questi limiti si allontana anche il tempo di cui i raggi stellari ci raccontano la storia e diviene pure di ieri la nostra paleontologia in confronto a quella che leggiamo sulla volta stellata.

5. — **Classificazione degli spettri stellari.** — Già Fraunhofer aveva osservato gli spettri stellari: Rutherfurd, poi Lamont ed altri avevano notato che presentavano tra loro divergenze assai forti; ma

questi non poterono essere studiati sistematicamente se non dopo che G. B. Donati fu riuscito nel 1860 ad unire praticamente lo spettroscopio al canocchiale. Egli fu il primo a tentare in quell'anno una classificazione delle stelle; ma subito dopo il P. Secchi poteva osservare gli spettri di ben 4000 stelle e mettendoli a confronto li distribuiva in quattro tipi fondamentali, che non sono dimenticati neppure oggi.

Perchè la luce d'una stella possa essere sì intensa da colorire uno spettro, è d'uopo che sia raccolta e concentrata con un canocchiale di grande apertura. Nello spettro che così si ottiene, la prima cosa che colpisce è la presenza costante delle righe dell'idrogeno: in seguito si rilevano comuni il sodio, il magnesio, il ferro, il calcio, il bismuto ecc.: in qualche caso si presentano poi anche le righe oscure che richiamano le telluriche dello spettro solare, ed accusano energica l'azione di gas assorbenti, a bassa temperatura. In sostanza dobbiamo adunque essere disposti a vedere che allo spettro del Sole altri analoghi od anche identici ne presenteranno le stelle.

Fig. 95. — Guglielmo Herschel.

A riconoscere però una differenza nella luce delle diverse stelle ci troviamo preparati anche per altre osservazioni, che certamente avremo già fatte sui loro colori. Sono i poeti che dicono d'oro tutte le stelle, senza distinzione: l'osservatore però, anche il meno esercitato nell'esame dei cieli, sa che *stella differt a stella* sotto ogni rapporto, e che quindi, mentre sono bianche, o più veramente azzurre, Altair, Procione, Castore, Sirio ecc., sono poi gialle la Capra, Polluce, α Balena — aranciate Aldebaran, Arturo, Betelgeuse — rosse Antares, α Ercole ecc. Si credette un dì che questi colori fossero illusione nostra: no, ora siamo certi che hanno fondamento reale nell'astro che s'ammira.

Venendo dunque alla classificazione del P. Secchi, chiameremo:

— Del 1° *tipo* — le stelle *bianche* o *azzurrognole*, le quali hanno uno spettro quasi continuo, rotto soltanto da quattro righe nere, che sono quelle dell'idrogeno rovesciate. Alcune delle stelle di questo tipo hanno sottilissime le righe nere: altre (Procione, Spiga, Altair ecc.)

presentano invece facilmente anche delle righe secondarie. Più di metà delle stelle visibili appartengono a questo tipo, che, come è facile pensare, raccoglie le stelle di temperatura più elevata, benchè a diverse fasi. Più calde sono quelle, nelle quali le righe nere diventano quasi impercettibili; meno calde le altre, nelle quali i vapori danno già l'assorbimento e le righe delle sostanze minori.

— Del 2° *tipo* — le stelle *gialle*, con spettro a righe nere metalliche, numerose e ben visibili, come nel Sole. Un terzo delle stelle appartiene a questo tipo: tali il Sole, la Capra, Polluce, α Orsa Maggiore, ecc.

— Del 3° *tipo* — le stelle *aranciate* o *rosse*, con spettro a righe nere metalliche, numerose come nelle precedenti, oscurato però qua e là anche da diverse (al più nove) zone nere, larghe, sfumate. Prototipi del gruppo: Betelgeuse, Antares, α Ercole, β Pegaso, ecc.

— Del 4° *tipo* — alcune stelline *rosso-sangue*, con spettro vario, di solito però senza le righe nere metalliche del tipo precedente, ed invece con le zone nere e sfumate larghe il doppio. L'Espin compilò nel 1889 il catalogo delle stelle di questo tipo: sono 113 appena comprese tutte tra le grandezze 6,7 e 8,8.

Pare che la temperatura degli strati superficiali delle stelle del 1° tipo oscilli fra 20.000 e 10.000 centigradi; la temperatura di quelle del 2° tipo da 8.000° a 4.000° e la temperatura di quelle del 3° tipo si aggiri intorno ai 3.000°.

Le stelle che si rifiutano ad entrare in qualcuno di questi quattro tipi sono rarissime: tra queste però meritano nota γ Cassiopea, β Lira ed η Argo, le quali, vicine ad alcune righe nere, danno anche le brillanti dell'idrogeno, come la cromosfera solare, e ci presentano quindi anche uno spettro diretto. In generale i diversi tipi dominano separatamente in certe plaghe del cielo.

Grazie alla fotografia ed ai potenti strumenti del Harvard College (Cambridge, Mass. U. S.), con un metodo che somiglia a quello che si adopera per la Carta fotografica del cielo, da un esame di 4800 spettrogrammi comprendenti 681 stelle, Miss Maury ha classificato le stelle in 24 gruppi, che secondo Miss Clerke possono riunirsi in 8 classi: 1ª, stelle ad elio; 2ª, stelle ad idrogeno; 3ª, stelle solari; 4ª, stelle a spettro canalato o a colonnato; 5ª, stelle a carbonio o ad idrocarburi; 6ª, stelle a spettro e colonnato colle righe brillanti dell'idrogeno; 7ª, stelle ad elio con linee brillanti; 8ª, stelle del tipo Wolf-Rayet con radiazioni molto intense d'origine sconosciuta. — Le stelle della 1ª e 2ª classe formano la prima classe di Secchi; quelle di 3ª concordano con quelle della classe 2ª di Secchi; quelli di 4ª con quelle di 3ª; quelle di 5ª con quelle di 4ª.

Attualmente ha acquistata grande autorità la classificazione spettroscopica del *Henry Draper Catalogue* dell'Osservatorio di Harvard

College (Cambridge, Mass. U. S.), che dispone di ricche dotazioni e di strumenti potenti. Le ricerche di prima importanza cominciarono dal 1885, e sino al 1921 furono registrati e classificati gli spettri di 222.000 stelle, al di sopra della 12ª grandezza. Sotto la direzione di Pickering vennero pubblicati successivamente parecchi Cataloghi: il 1° intitolato *Draper Catalogue* nel 1890; il 2°, *Spectra of Bright Stars* da Miss Maury nel 1897; il 3°, consacrato specialmente alle stelle dell'emisfero australe, *Spectra of Bright Southern Stars*, da Miss Cannon nel 1901. Un nuovo Catalogo, più specialmente fotometrico, *Revised Harvard Photometry* apparve nel 1908, che dà i gruppi di spettri di 9110 stelle. Un'opera considerevolissima, destinata a completare la precedente, è dovuta a Miss A. J. Cannon, intitolata: *The Henry Draper Catalogue 1918-1920*, negli *Annals of the Astronomical Observatory of Harvard College*, volume 91-99.

Nel *Draper Catalogue* e nella *Revised Harvard Photometry*, secondo le ultime convenzioni, le lettere della classificazione, e i gruppi che esse rappresentano, sono disposti secondo il *supposto* ordine delle temperature decrescenti.

Le stelle appartenenti ai gruppi M, R e N sono poco numerose e la grande maggioranza degli spettri stellari appartiene alle classi I e II di Secchi. Tra le classi seguenti si sono create suddivisioni necessarie per l'esistenza di una serie continua di intermedie.

Ecco la descrizione delle classificazioni:

Classe O. — Si classificano fra le stelle più calde quelle del tipo scoperto da Wolf e Rayet. L'azzurro e il giallo dei loro spettri contengono delle radiazioni particolarmente intense, la maggior parte di origine sconosciuta. Trovansi le righe brillanti ed oscure della serie di Pickering dell'elio, specialmente caratteristiche di queste stelle, e talvolta C e F dell'idrogeno. Non vi si incontrò alcuna riga di metalli. Il fondo dello spettro è continuo e molto intenso nell'ultravioletto. Queste stelle presentano affinità con le nebulose planetarie, sembrano dotate di temperatura altissima, sono situate tutte nella Via Lattea o nelle Nubi di Magellano. Al presente si considerano come vestigia indebolite di stelle *nuove*. Suddivisioni: O_a, O_b... O_e.

Tipi di O_a: B. D. + 35,4013, AR $20^h\ 8^m$; D + 35° 54′ ecc.; di O_b: B. D. + 35°,4001. AR $20^h\ 6^m$; D + 35° 53′ ecc. [1].

Classe B. — Il tipo della classe B è quello delle *stelle ad elio*. Sono predominanti le righe d'assorbimento dell'elio e dell'idrogeno; l'elio è rappresentato dalle righe delle sue sei serie. Il magnesio è

[1] In questi ultimi anni si è proposto di premettere alla classe O, la classe P, formata dalle *nebulose planetarie*.

indicato in condizioni di scariche elettriche tutte speciali; rare e deboli righe rivelano la presenza del sodio, del calcio e del ferro; più marcate sono le righe del silicio, dell'ossigeno e dell'azoto. Suddivisioni: B_0, B_1, B_2... B_9.

Tipi: ε Orione (Aluitam), $\varkappa$ Orione, γ Cassiopea ecc.

Classe A. — Stelle bianche a idrogeno di colore bianco-azzurrognolo, che formano con quelle dei gruppi B precedenti la classe I del P. Secchi. L'assorbimento delle righe dell'idrogeno è intenso. L'elio è assente o appena visibile, le H e K del calcio sono debolissime e strette; così pure le numerose righe del ferro. Lo spettro si estende molto lontano nell'ultravioletto. Fanno la loro apparizione le righe ultime dei metalli. Suddivisioni: A_0 (tipi: Sirio e Vega); A_2 (tipi: δ Orsa maggiore, ι Centauro ecc.); A_3; ecc.

Classe F. — Lo spettro dell'idrogeno diminuisce notevolmente d'intensità; le righe del calcio divengono predominanti, e le righe metalliche del tipo solare aumentano gradatamente. Si potrebbero chiamare *stelle a calcio*. Suddivisioni: F_0 (tipi: δ Gemelli e Canópo); F_2 (tipo: π Sagittario) ecc.

Classi G e *K*. — Le stelle delle classi G e K di Harvard formano la classe II di Secchi, ed è quella delle *stelle solari*. Righe di Fraunhofer, le medesime di quelle del Sole, con lo stesso sviluppo caratteristico delle righe H e K. Le righe metalliche sono strette e deboli, ma eccessivamente numerose; comprendono sopra tutto le righe dell'arco del ferro e di metalli del suo gruppo chimico. Appariscono le quattro righe visibili della serie dell'idrogeno. Suddivisioni: G_0 (tipi: Capra e β Idra); G_5 (tipo: $\varkappa$ Gemelli) ecc.; K_0 (tipi: Arturo e α Fenice) ecc. Nel tipo K_5 (Aldebaran) fanno la loro apparizione debolmente le strisce a colonnato del titanio.

Classe M. — Corrisponde alla classe III di Secchi, quella degli spettri canalati, od a colonnato, di Harvard. Abbassamento notevole di temperatura stellare. Gli spettri sono costituiti da un doppio sistema di strisce d'assorbimento. Su di un fondo lineare di righe di Fraunhofer, dovute principalmente al ferro, si proietta un insieme d'una decina di strisce o zone scanalate, od a colonnato, oscure, che coincidono con quelle del titanio, come l'ha provato Foroler. Parecchie di queste stelle sono variabili. Suddivisioni: M_0 (tipi: Betelgeuse e α Idra) ecc.

Classe R. — Certe stelle, la maggior parte delle quali furono finora attribuite alla classe IV, ne differiscono, specialmente per la loro grande quantità di luce azzurra, per il loro spettro che si estende sino all'ultravioletto, verso $H\varepsilon$ (λ 3970); esso presenta una o più strisce oscure, la principale tra λ 4640 e λ 4730, ed assomiglia ad uno spettro del gruppo O rovesciato su d'un fondo continuo. Il

numero delle stelle che hanno queste caratteristiche è finora di 51: la più brillante è della 7ª grandezza; cinque altre soltanto passano la 8ª. Suddivisioni: R0 (tipo S. D. 10°, 5057, ecc.).

Classe N. — Sono quelle della più bassa temperatura supposta, e chiamansi *stelle a carbonio.* Esse hanno, come le precedenti, spettri di strisce attribuibili al carbonio o agli idrocarburi. Vi si scopre qualche riga di Fraunhofer, specialmente D ed E. Il colore di queste stelle è rosso rubino, e corrisponde alla classe IV di Secchi. Dub-

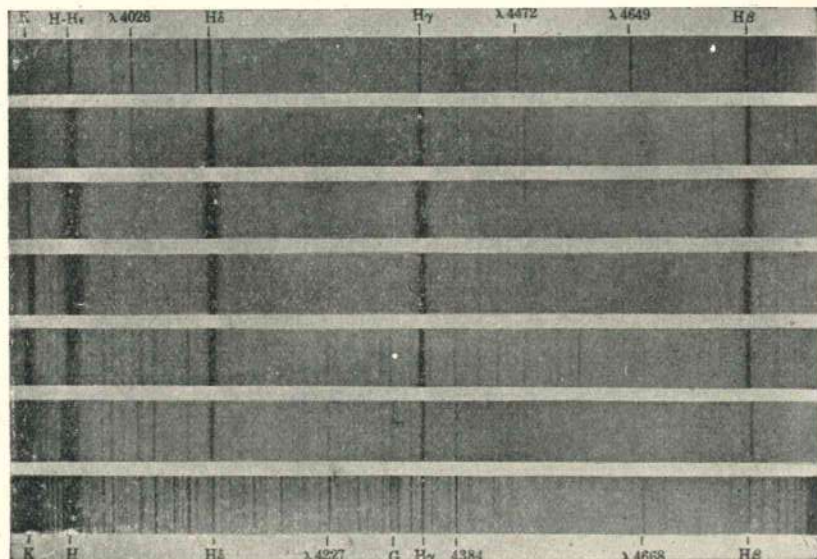



Fig. 97. — Tipici spettri stellari delle classi B-G. *(Detroit Obs. Publ. III, Plate M).*

biosi o assenti l'idrogeno, l'elio, il calcio. Vi apparisce qualche riga di origine sconosciuta. Su 250 stelle di questa classe, sette solo passano la 6ª grandezza, e circa 50 sono variabili. Suddivisioni: Na (tipo 19 Pesci) ecc.

Vi sono poi le *divisioni speciali* proposte da Miss Maury, fondate principalmente sulle apparenze delle righe metalliche differenti da quelle del calcio, e chiamate *divisioni a, b* e *c.*

Un'altra classificazione ancor più recente sarebbe quella di Lockyer, che si fonda, dal punto di vista chimico e termico, sulla considerazione delle righe dette *rinforzate (enhanced)* dalle più forti scintille, e che si suppongono corrispondere a una dissociazione dei differenti corpi semplici in *proto-elementi* (1).

(1) Vedi *Ann. du Bur. des Long.* 1922.

6. — Stelle variabili. — Col tempo tutte le stelle cambiano splendore, ed a persuadercene col fatto, oltre a quanto abbiamo detto, basta il confronto dei caratteri riconosciuti dagli antichi, con i caratteri che su qualche astro noi riscontriamo al presente. *Castore* una volta era più bella di *Polluce*, mentre ora le è inferiore: χ dell'Acquario, registrata di terza grandezza fino al secolo XVI, ora non è più che di sesta, come è ora pure soltanto di sesta la stella segnata col N. 4969 nel Catalogo di Lalande, che da Ipparco fu detta

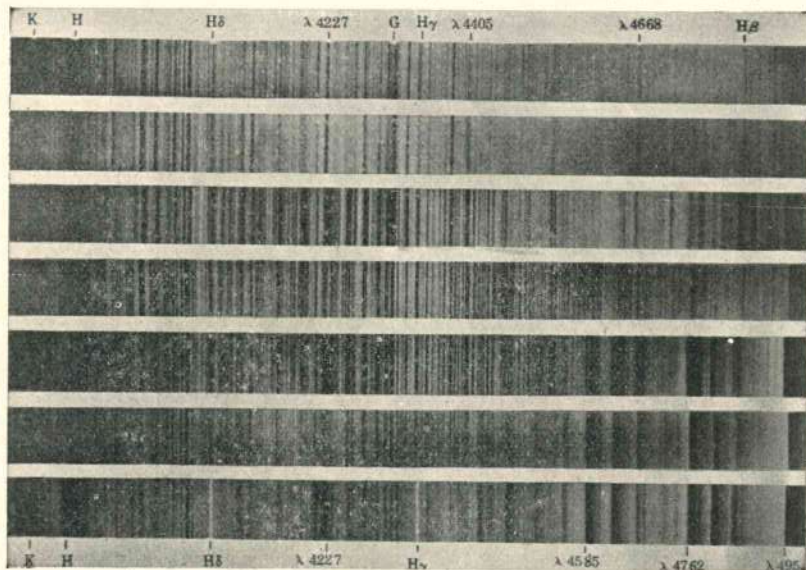



Fig. 98. — Tipici spettri stellari delle classi G-M. *(Detroit Obs. Publ. III, Plate N).*

già di quarta. Per sè adunque tutte le stelle si potrebbero chiamare *variabili.* Nell'uso però questa parola venne molto limitata, ed oggi *variabili* non si dicono che le stelle che cangiano di splendore con una certa rapidità, obbediscano (**periodiche**) o no (**temporarie**) ad una regola costante [1]. Dopo Pickering (1880), le *variabili* si dividono in cinque classi, prima delle quali quella delle *temporarie.*

---

(1) È celebre l'*Atlas stellarum variabilium* (F. Dames, Berlin 1898) del già citato Padre Giovanni Hagen (vedi p. 16). L'opera è di otto serie, con aggiunte (1925): le prime tre serie contengono le 150 variabili con minimi inferiori alla decima grandezza, visibili alle nostre latitudini, ordinate secondo le loro declinazioni. La 4ª serie contiene le stelle variabili fino alla decima grandezza che esigono l'uso di un equatoriale di moderate dimensioni, di 8 cm. p. es.; la 5ª serie rappresenta tutte le variabili visibili ad occhio nudo o almeno per mezzo di un binocolo (6ª-7ª grandezza). La 6ª serie è la continuazione della 1ª, 2ª, e 3ª. Ciascuna variabile, circondata da un buon numero di *stelle di confronto,* forma il centro

I. — Delle temporarie è celebre quella di Ticone, detta la *Pellegrina,* comparsa nel 1572 in Cassiopea nel punto segnato, con un cerchietto in prossimità della linea delle ore 0 della Tavola V[a]. Accesasi nel novembre, raggiunse subito uno splendore da eguagliare ed anche superare i massimi di Venere e di Giove: passò per il bianco, per il giallo, per il rosso, poi di nuovo per il bianco; in seguito impallidì, e dopo 17 mesi scomparve senza lasciare traccia di sè. — Per le principali temporarie basti il seguente specchietto, che ne dà l'anno, il luogo e lo scopritore:

1	134 av. Cr.	nello Scorpione	Ipparco
2	130 d. Cr.	in Ercole	?
3	389	Aquila	Cuspiniano
4	945	tra Cefeo e Cassiopea	?
5	1572	B Cassiopea	Tycho Brahe
6	1600	Cigno	Janszoon-Blaev
7	1604	Serpentario (vedi Tav. VI[a])	Brunowsky
8	1670	Cigno (» » V[a])	Anthèlme
9	1704	Idra	Maraldi
10	1848, 28 aprile	Serpentario (» » VI[a])	Hind
11	1860, 21 maggio	Scorpione	Auwers
12	1866, 12 maggio	Corona boreale (v. » V[a])	Birmingham
13	1876, 24 novembre	Cigno (v. » V[a])	Schmidt
14	1885, 31 agosto	Andromeda	Hartwig
15	1892, 24 gennaio	Cocchiere	Anderson
16	1901, 22 febbraio	Perseo	Anderson
17	1903, 16 marzo	Gemelli	Oxford
18	1912, 13 marzo	Gemelli	Enebo
19	1918, 7 giugno	Aquila	Courvoisier e altri
20	1920, 20 agosto	Cigno	Denning.

Alcune osservazioni. — *a*) Le temporarie si registrano con la lettera T e con l'indicazione dell'anno ed insieme con la voce *Nova* seguíta dal nome della Costellazione al genitivo. — *b*) La prima di queste stelle fu assai viva, e secondo la testimonianza di Plinio, fu essa che determinò Ipparco a formare il *Catalogo.* — *c*) Dal 1848 al 1899, in circa mezzo secolo, abbiamo avuto 14 temporarie. Non si può però da questo argomentare una frequenza ora maggiore

di una carta: il catalogo che accompagna l'Atlante dà il grado di luminosità di tutte le stelle notate. L'opera dell'Atlante è stata ripresa dalla Specola Vaticana, in cooperazione cogli osservatorii di Valkenburg e Bergedorf. La 7[a] serie continua la 6[a], e la 8[a] la 4[a]. Queste due serie appariscono in fascicoli sussegüenti, secondo il progresso delle scoperte di nuove variabili.

che non in passato, perchè ora il cielo è esaminato con *più* diligenza da *molti* Osservatori con *mezzi* potenti, tra i quali anche la fotografia, e si sarà quindi nei nostri tempi avvertita anche la comparsa di stelle, che in passato sarebbero sfuggite. — *d*) Pare che alcune regioni sieno più feconde di temporarie: tali lo Scorpione, il Cigno, il Serpentario e Cassiopea, o meglio, la Via Lattea. — *e*) Pare anche che in alcune costellazioni le temporarie presentino il ritorno a lunghi periodi. In Cigno, ad es., questo periodo sarebbe prossimamente di 70 anni, se tra le osservazioni del 1600, 1670, 1876 inseriamo le due epoche 1740 e 1811, passate come sterili. In Cassiopea (945-1264-1572) il periodo sembra invece oscillare intorno ai 310 anni; peraltro, qui sarebbe passato senza apparizioni il periodo che doveva restare incluso tra il 1880 ed il 1890. — *f*) Lo studio vero delle temporarie può dirsi che non sia cominciato che con la *Nova Coronae* del 1866 in seguito all'applicazione dello spettroscopio. Per i caratteri spettrali, a questa si avvicinarono assai le temporarie del Cigno del 1876, e del Cocchiere del 1892. A formarci un'idea di tali lampi fugaci nella vita stellare, basterà adunque conoscere le vicende di due delle ultime.

Consultando i clichés fotografici ottenuti anteriormente si è trovato che della *Nova Aurigae* non vi era traccia al 1° dicembre 1891; il 20 del medesimo dicembre essa splendeva però già di grandezza 4,5: e tale rimaneva fino al 2 febbraio. Decrescendo in seguito regolarmente, si ridusse di 16ª alla fine dell'aprile: riavutasi alquanto nell'agosto, risalì a 9,5 e di 9,5 si mantenne poi sempre; solo che, invece di avere l'apparenza di una stella, assunse quella di una leggerissima nebulosa, condensata nel centro, sfumata al contorno, e con il diametro di 3″. Lo spettro di questa stella, nella sua prima fase di vita, ha presentato le righe brillanti dell'idrogeno, del magnesio e del sodio insieme ad alcune righe nere, spostate quelle (le brillanti) verso il rosso, queste (le nere) verso il violetto. Inutile dissimularlo: qui abbiamo due spettri sovrapposti che richiamano lo spettro della cromosfera e quello di β Lira e fanno pensare *per le righe brillanti* ad una sorgente a temperatura elevata, e che s'allontanava con la velocità enorme di 1000 km. per secondo — *per le righe nere* ad un'atmosfera assorbente che a noi si avvicinava con la velocità di km. 875. Nella seconda fase, ossia nello stato di nebulosa, la stella ha presentato uno spettro ben diverso; non ha più dato che le righe brillanti delle vere nebulose, quelle specialmente del verde e dell'azzurro.

Nel 1901 comparve una stella nuova nella costellazione di Perseo, la *Nova Persei*, di prima grandezza, dopo parecchi secoli da che non ne comparivano di tale splendore. Fu scoperta il 22 febbraio di quell'anno dall'astronomo scozzese Ralph Copeland, a 3^h 24^m

28^s di ascensione retta, ed a 43° 33′ 9″ di declinazione boreale. Quel giorno essa aveva una grandezza di 2,7. Il giorno seguente superava in splendore la stessa Vega, e raggiunse la sua grandezza massima. Il 28 era scesa alla 2^a, mutando la luce da bianca in giallastra. Il 7 marzo, con parecchie fluttuazioni, raggiunse la 3^a, il 17 la 4^a, il 19 la 5^a. Poi salì rapidamente di nuovo alla 4^a rimanendovi sino alla fine di marzo, anzi fino ai primi giorni del mese seguente. Il 6 di aprile scese quasi di colpo alla 6^a, e vi rimase per tutto aprile ed ancora per maggio, giugno e luglio. Durante questa diminuzione, la luce passò dal bianco e dal giallo ad una tinta rossiccia, che talvolta si cambiava in rosso cupo. La fotografia scoprì intorno alla stella una grande nebulosa anulare di 20′ di diametro, in movimento rapido annuo di 11′, secondo Perrine, e soggetta a rapide metamorfosi (fig. 115). La sua luce debolissima, sarebbe, secondo Wilson e Kapteyn, non altro che il riflesso della luce della *Nova Persei.* La parallasse di questa Nova sarebbe, secondo Kapteyn, probabilmente di 0″, 011, il che dà una distanza di 296 anni di luce. La conflagrazione sarebbe accaduta verso il 1604, e noi l'avremmo veduta dopo tre secoli! [1]

Che sono le temporarie? E perchè mai quei mondi

> Ora scemano fiochi e moribondi,
> Or con vividi incendi ardon risorti?
>
> (ZANELLA, *Microscopio e telescopio*).

Una risposta sicura non si può dare, ed anzi è forse sulle temporarie, più che altrove, che, se le ipotesi sono numerose, sono in pari tempo troppo disparate e vulnerabili. Anzitutto si può domandare: Le temporarie, che noi chiamiamo anche *nuove,* sono *nuove* davvero? Tali le credettero già alcuni, che le vollero derivate o da nuove creazioni (Ticone), o da condensazioni della Via Lattea (Ticone), o dall'etere cosmico (Kepler); ma tali non sono di certo. Una condensazione sì rapida della materia nebulare da presentare i fenomeni delle temporarie, nessun fatto ci autorizza ad ammetterla: meglio

---

[1] Altre *Novae* comparse: quella del 1903 il 16 marzo nei Gemelli; quella del 1912 il 13 marzo pure in Gemelli, la *Nova Aquilae* nel 1918. Nel 1920 verso il 20 agosto venne scoperta un'altra stella nuova notevole nella regione boreale della costellazione del Cigno, la *Nova Cygni.* Aveva allora una grandezza di 3,5 circa; poi aumentò di splendore per alcuni giorni, senza passare la 2^a grandezza, ed in seguito cominciò ad estinguersi. Lo spettro delle *Novae* cambia di carattere a misura che vanno estinguendosi: le radiazioni che caratterizzano le nebulose incominciano a comparire per non sussistere che esse sole. Forse le *Novae* finiscono per trasformarsi in nebulose; forse rendono semplicemente visibile una nebulosa preesistente che non era luminosa. (*Scentia,* 1-1-1921).

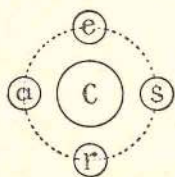
dunque pensare a stelle preesistenti, oscure o quasi oscure, richiamate temporaneamente a vivi splendori. Danno appoggio a questa ipotesi i seguenti fatti: 1° La stella di Hind (1848), che anche nel 1896 si poteva vedere, ma di 11ª grandezza: — 2° La stella di Birmingham (1866), che corrisponde alla 2765 del Catalogo di Argelander, di 9ª grandezza prima della sua accensione: — 3° La *Pellegrina*, che probabilmente si identifica con una stellina rossa, distante solo un minuto dal luogo assegnatole da Ticone. — Ed ammesso pure che le *temporarie* sieno reviviscenze passeggere di astri semispenti, resta poi ancora a domandare: quale la causa? — Lo spettroscopio accusa lassù la presenza di fiamme, o meglio di eruzioni immense di idrogeno, e si può dunque pensare a incendi giganteschi, a catastrofi di mondi che sorpassano immensamente ogni nostra fantasia. Per la determinazione poi e lo sviluppo di questi incendi, Newton pensò già alla caduta di comete, Lockyer alla collisione di due correnti meteoriche o di due comete, Seeliger alla penetrazione di una stella in una nube meteorica, altri a reazioni interne che avessero determinate eruzioni analoghe alle protuberanze solari: meglio sarebbe supporre l'urto di due astri. —

Le altre quattro classi di *variabili* che ci restano da esaminare, si sono riconosciute, od almeno considerate, come soggette ad un periodo più o meno determinato nei cambiamenti dei loro splendori: di qui l'aggettivo di *periodiche* con il quale si sono contraddistinte.

II. — La seconda classe delle *variabili* è quella delle stelle a periodo lungo (fra 6 mesi e 2 anni) e a differenze assai forti tra gli estremi degli splendori: presenta talvolta delle irregolarità. Tipica di questa classe la o della Balena, detta giustamente *Mira*, la *Mirabile* (v. Tav. IIª e VIª). Nelle notti, per es., dei primi di gennaio 1897 toccava un massimo ed era bella come quelle dell'Orsa Maggiore, di grandezza 1,7: in seguito si vide impallidire in pochissimi giorni (una quindicina) tanto da riuscire invisibile ad occhio nudo, e al primo splendore non ritornò più che dopo 331 giorni e 8 ore circa. Le variazioni di splendore su questa stella furono avvertite per la prima volta da Fabricio nel 1596 e poi confermate da Holwarda nel 1638 e 1640: chi ne determinò il periodo fu Evelio, nel 1662. — Analoghe sono ψ dell'Idra che passa dalla 4ª alla 10ª grandezza in 449 giorni, e χ del Cigno che passa dalla 4ª alla 13ª.

A *Mira Ceti* si assegna il periodo di 330-331 giorni. Secondo recenti osservazioni questo periodo ha bisogno di essere ancora studiato, perchè: *a*) si è visto che nel passare da un massimo a un minimo e viceversa, da un minimo a un massimo, la stella presenta non un andamento regolare e continuo, ma alternative di splendore;

b) dal 1887 sembra ritardare i massimi. Il massimo, che doveva venire il 9 dicembre 1895, tardò fino al 10 febbraio 1896, e quello indicato dalla teoria per il 2 novembre 1896 non si ebbe in realtà che due mesi dopo, nel gennaio 1897. Il 2 novembre 1896 non era che tra la 6ª e la 5ª grandezza.

Le variabili della IIª classe appartengono al tipo spettroscopico *M*, cioè alle stelle di bassa temperatura e di color rosso, con lo speciale distintivo però di righe lucenti di idrogeno, le quali seguono, nella loro luminosità, il periodo della variabile. Importante fu la scoperta di un compagno di *Mira Ceti*, predetto teoricamente con lo studio dello spettro: e perciò paragonabile, il fatto, alla scoperta del pianeta Nettuno. Un'altra variabile di questa classe che si è rivelata doppia è X Ophiuchi.

III. — Della terza classe sono le variabili a mutazioni deboli e con legge non ancora ben determinata. Tali α di Cassiopea, che passa da 2,2 a 2,8; α di Orione, che scende di una grandezza ecc.

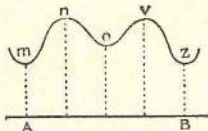



Fig. 99.

IV. — Sono della quarta le stelle che hanno periodo breve e regolare e passano da un massimo ad un minimo per una serie *non interrotta di splendori diversi.* Fra le variabili della IVª classe il Pickering annovera anche quelle del tipo β di Lira, benchè secondo la loro natura appartengano alla Vª. La variabile β di Lira partendo da un minimo di 5ª grandezza, sale regolarmente e continuamente per il periodo di 75 ore fino a toccare un massimo di 3ª: toccatolo, ridiscende per 78 ore fino a raggiungere un secondo minimo di 4ª, ed a partire da questo punto risale poi ancora per 75 ore onde arrivare ad un secondo massimo di 3ª, dal quale poi, in ore 82, ricade ad un minimo di 5ª. Questa variabile ha dunque un periodo di 310 ore, nel quale due massimi d'intensità pressochè eguali si trovano separati da due minimi di valori assai diversi. Nella parte inferiore della fig. 99 questa diminuzione è rappresentata con un diagramma ridotto su disegni dello Schiaparelli. Sulla AB computate le ore, ed eccovi la sinuosa posta in alto segnare i punti di massima in *n* e *v*, con i minimi estremi in *m* e *z* e il minimo medio invece in *o*.

Appartiene a questa classe anche la stella δ di Cefeo che passa dalla 4ª alla 5ª grandezza nel periodo di ore 129. La curva di luce, molto rapida dal minimo al massimo, scende poi lentamente, e talvolta con oscillazioni, verso il prossimo minimo. Nelle righe dello spettro si osservano movimenti sincroni al periodo di luce, i quali, se si interpretano secondo il principio di Doppler, indicano che la

stella si avvicina nel massimo e, con la stessa velocità si allontana nel minimo. Contemporaneamente cambia il tipo dello spettro da *F* (nel massimo) verso *G* (nel minimo). Al tipo δ Cefeo appartengono tutte le variabili a corto periodo. Siccome queste presentano come il Sole delle variazioni di volume sono state chiamate stelle pulsanti; si possono anche chiamare δ *Cefeidi.* Il numero di queste stelle ammonta a centinaia; si trovano in massa nei gruppi globali di cui parleremo nel capitolo seguente.

Fig. 100. — Curve di luce della stella η Aquilae *(del tipo δ Cephei).*

Importante è la legge scoperta da *E. Pickering* e dalla sua allieva *E. Leavitt,* secondo la quale la *lunghezza del periodo di una δ Cefeide è in relazione con il suo splendore assoluto.* Esaminando quindi la curva di luce di una δ Cefeide, data dal fotometro, noi possiamo dedurne subito lo splendore assoluto; d'altra parte lo stesso fotometro ci dà lo splendore apparente e quindi, dal confronto, ne *risulta la distanza della stella.*

V. — Della quinta classe sono le stelle che hanno una diminuzione di splendore breve, rapida, a periodo regolarissimo, esatto fino al secondo. Tale *Algol,* o β di Perseo, scoperta come variabile da Montanari nel 1669 e segnata nella Tav. IIª e Vª sulla linea delle ore III. Questa stella, di seconda grandezza, mantiene costante il suo splendore per ore 61: in 3 ore e 30 m. discende poi fino alla 4ª, e rimasta tale per 7 od 8 minuti, risale subito in altre 3 ore e mezzo alla grandezza di prima. Ha dunque il periodo totale di ore 68 e 49 m. Simili sono λ Toro, δ Libra ecc. Le stelle variabili del tipo di Algol sono oggetto di ricerche speciali all'Osservatorio di

Capodimonte ove nel 1927 sono state particolarmente studiate U Cephei, RZ Cassiopeiae, Algol (β Persei), V Ophiuchi ed U Sagittae.

E di queste classi di *variabili*, quale la spiegazione? Diverse per i diversi casi. Qualcuno anzitutto ha supposto che le *variabili* non fossero rivestite uniformemente di luce, ma invece più vive da un lato, meno dall'altro: animandole di rotazione sopra se stesse, esse avrebbero potuto dunque presentare, a periodi costanti, maggiori o minori splendori e con questo il fenomeno della variabilità. Osserviamo che la cosa non è impossibile, ma è però assai improbabile: nessun astro, per quanto sappiamo, ci dà ineguaglianze di superfice tanto forti, quali l'ipotesi le richiede. — Altri ha pensato a periodiche emissioni di vapori assorbenti, o, in generale, a cataclismi periodici nella vita dell'astro. Il nostro Sole, ad es., ha un massimo di macchie ad ogni periodo di 11 anni, immaginate che anche in altri Soli queste macchie si succedano su scala più vasta, ed eccovi create delle variabili. Anche quest'ipotesi incontra difficoltà, ma pure, meglio della prima, ha i lati favorevoli, e può servire per dar ragione specialmente della classe terza.

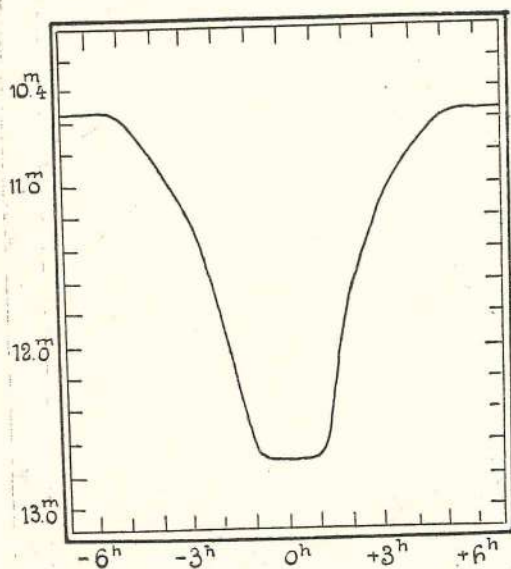



Fig. 101. — Curva di luce di una stella di eclissi.

Il P. Hagen distingue le stelle variabili a lungo periodo, da quelle a periodo breve: delle prime, egli dice, non si può ancora dare una spiegazione, mentre sulle seconde se ne sono tentate due degne di nota.

Una di queste due ipotesi suppone nella stella pulsazioni di origine interna, le cui fasi sarebbero naturalmente accompagnate da riscaldamento all'istante della compressione, e da raffreddamento al momento della dilatazione, con conseguente aumento e diminuzione di splendore. Ma donde viene l'origine di tali pulsazioni e donde l'energia che le mantiene per secoli?

L'altra ipotesi suddivide le stelle variabili a corto periodo in stelle la cui variazione di luce è soltanto apparente, perchè causata da un'occultazione o eclissi fra due componenti fisicamente connesse, sia in mutuo contatto, sia a qualche distanza, e stelle realmente variabili nella loro propria luminosità (1). Queste ultime si interpetrano come un sistema binario, costituito da una grossa massa cometaria, attorno alla quale gira un piccolo Sole, che rotando vi suscita fenomeni analoghi a quelli che il nostro Sole suscita nelle comete. Un sistema binario nel quale il Sole avesse una massa piccola come un satellite e la stella principale una massa enorme cometaria darebbe origine, nel suo passaggio al periastro, o ai fenomeni di stelle *novae*, quando il passaggio è unico, o ai fenomeni del tipo di δ Cefeo quando il passaggio è periodico.

Per dare valore a quest'ultima ipotesi bisognerebbe prima sapere se attorno alle stelle si possono aggirare dei corpi oscuri, e se vi siano delle coppie luminose. A queste due domande risposero già affermativamente le ricerche che ora stiamo per esporre.

PRINCIPALI STELLE VARIABILI.

Variabili del tipo di Algol.

Stella	AR (1910)		D (1910)		Grandezza	Periodo in giorni
Algol=β Perseo . .	3^h	$2^m,3$	+40°	36′	2,1-3,2	2,86733
λ Toro	3	55,5	+12	14	3,3-4,2	3,95292
δ Bilancia	14	56,2	− 8	10	5,0-6,2	2,32734
R Cane maggiore . .	7	15,4	−16	13	5,7-6,3	1,13595
U Ofiuco	17	12,0	+ 1	19	6,0-6,7	0,83869

Variabili a corto periodo.

Stella	AR (1910)		D (1910)		Grandezza	Periodo in giorni
β Lira	18^h	$46^m,8$	+33°	16′	3,4-4,1	12,9080
δ Cefeo.	22	25,8	+57	57	3,7-4,6	5,3665
η Aquila	19	47,9	+ 0	46	3,7-4,5	7,1764
ζ Gemelli	6	58,8	+20	43	3,8-4,3	10,1538
R Lira	18	52,6	+43	50	4,0-4,7	46,4
Y Sagittario	18	16,1	−18	54	5,4-6,2	5,7732
T Volpetta	20	47,6	+27	55	5,5-6,2	4,4360
S Freccia	19	51,9	+16	24	5,5-6,1	8,3832
T Liocorno	6	20,4	+ 7	8	5,7-6,8	27,0122
X Cigno	20	39,9	+35	16	6,0-7,0	16,3855

(1) *Memorie della Società Astr. Ital.* Vol. I, 1920.

Variabili a lungo periodo.

Stella	AR (1910)		D (1910)		Grandezza	Periodo in giorni
Mira = o Balena	2^h	$14^m,8$	— 3°	23′	2 a 3 - 9,5	332
R Idra	13	25,2	—32	49	3,5- 9,7	425
χ Cigno	19	47,1	+32	41	4,5-13,5	406
R Leone	9	42,7	+11	51	4,6-10,5	313
W Cigno	21	32,6	+44	59	5,0- 6,7	132
T Cefeo	21	8,4	+68	7	5,1-10,5	387

Variabili irregolari.

Stella	AR (1910)		D (1910)		Grandezza	Periodo
α Orione	5	50,1	+ 7	24	0,7- 1,4	—
β Pegaso	22	59,4	+27	26	2,2- 2,7	—
α Cassiopea	0	35,4	+56	3	2,2- 2,8	—
ε Cocchiere	4	55,5	+43	41	3,0- 4,5	—
α Ercole	17	10,5	+14	29	3,1- 3,9	—
η Gemelli	6	9,4	+22	32	3,2- 4,2	—
ρ Perseo	2	59,4	+38	30	3,4- 4,2	—
μ Cefeo	21	40,8	+58	22	4 - 5	—
ι Bilancia	15	7,0	—19	27	4,3- 5,0	—
U Idra	10	33,1	—12	55	4,5- 6,3	—
u Ercole	17	14,0	+33	12	4,6- 5,4	—
g Ercole	16	25,7	+42	5	4,7- 6,0	—
R Scudo	18	42,7	— 5	48	4,8- 7,8	—
S Liocorno	6	36,0	+ 9	59	4,9- 5,4	—
T Balena	0	17,2	—20	33	5,1- 7,0	—
W Boote	14	39,5	+26	55	5,2- 6,1	—
R Corona	15	44,9	+28	26	5,5-10,1	—

7. — I satelliti delle stelle. — Cristiano Mayer, avanzando idee che la sua età non seppe comprendere, pensò che le stelle dovessero avere dei satelliti: in seguito vennero i lavori colossali di Herschel, e davanti ad essi tutti si dovettero inchinare, riconoscendo come un fatto indiscutibile che anche gli altri Soli hanno pianeti e satelliti come il nostro.

Sarà detto più ampiamente nel prossimo capitolo dei movimenti delle stelle; intanto accettiamo come provato il fatto che le stelle non sono fisse sulla volta celeste, ma hanno le *orbite* lungo le quali si muovono.

Osservate la fig. 103, presso la costellazione di Orione, *s* è Sirio (α del Cane maggiore) e la punteggiata *sd* ne rappresenta la direzione del movimento proprio tra ovest *(o)* e mezzodì *(m)*. Bessel, nel 1844, confrontando le posizioni che Sirio era venuto man mano ad occupare dal 1750 in poi, ne dedusse che quell'astro si muoveva lungo una sinuosa (come nella figura si è rappresentato, però con esagerazione), e concluse che il fenomeno non si poteva spiegare che ammettendo attorno a Sirio un altro astro, col quale formasse un sistema. Bessel moriva nel 1846 lasciando dietro a sè chi ne condivideva e chi ne combatteva le concezioni. Teoricamente queste

sue idee le confermavano il Peters nel 1851, Le Verrier nel 1854, e poi Auwers e Safford: il trionfo più bello però alla memoria di Bessel lo conquistava l'Alvan Clark di Cambridge (Mass. U. S. A.), il 31 gennaio 1892, quando scopriva intorno a Sirio il satellite divinato! — Notiamo di passaggio che la scoperta del satellite di Sirio propriamente si deve al figlio di Alvan Clark, giovane allora di soli 14 anni, e che del resto, prima che dai Clark, questo satellite era stato visto dal P. Antonelli di Firenze. — Osserviamo la fig. 107 (ridotta sopra un disegno dello Schiaparelli) e vediamo di formarci un concetto giusto del movimento di Sirio per poi comprendere bene anche

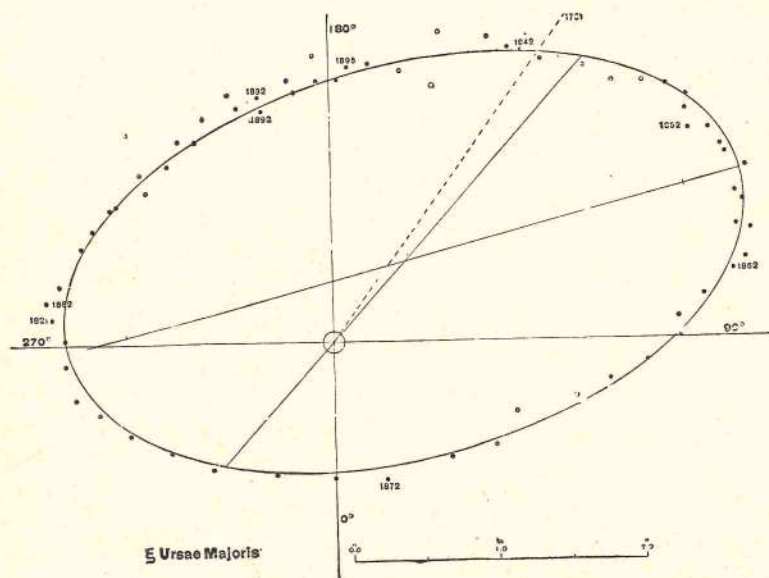



Fig. 102. — Orbita della stella doppia ζ dell'Orsa Maggiore.

gli altri casi. L'orbita propria di Sirio è la S S′ S‴, lungo la quale l'astro scorre nel senso della freccia: l'orbita del suo satellite è la LL′L″, più che doppia della prima, e lungo la quale il satellite si muove pure nel senso della freccia, quindi all'opposto dell'astro principale. Sirio ha una massa che vale 14 volte quella del nostro Sole: il suo satellite, di Soli, non ne vale che 7. A compiere una rivoluzione impiegano 49 anni terrestri e 5 mesi, e in questo periodo passano da una distanza minima di 2″ ad una massima di 10″ (toccata nel 1841 e nel 1895 ed equivalente a circa 14 volte la distanza della Terra dal Sole); obbediscono perfettamente alle leggi di Kepler e di Newton, e le rette che ne uniscono i centri passano costantemente

per il punto C, che non ha corpo, ma che è il centro di gravità dei loro corpi. Or bene, se la NS rappresenta la direzione da Nord a Sud, la AB rappresenta la direzione sulla quale il sistema di Sirio si trasporta percorrendo $^1/_2$ grado (il diametro apparente della Luna) in 1350 anni: ma, su questa retta, notiamolo, è il centro di gravità del sistema che scorre, non Sirio: Sirio oscilla invece ora di qua, ora di là, ed in questo modo descrive appunto la sinuosa che Bessel aveva constatato.

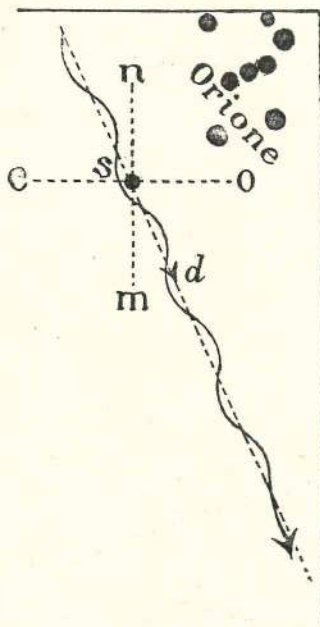



Fig. 103.

Alcune perturbazioni, osservate in seguito, persuaderebbero ad ammettere attorno a Sirio un secondo satellite, oscuro, diretto nel senso dell'astro principale.

Anche per Procione, Bessel aveva supposto un satellite, che Struve poi scoprì il 19 marzo 1873.

Ora il fatto più caratteristico è che ad ogni conquista dell'Astromeccanica nella prima metà del secolo XIX sembra corrisponderne un'altra dell'Astrofisica nella seconda metà del medesimo secolo. Così alla ricerca dei satelliti delle stelle venne a portare il suo contributo lo spettroscopio.

Si studiarono con questo le variazioni di Algol e non si trovò alcuna differenza nei massimi e nei minimi il che s'interpetrano giustamente col pensare che non vi dovevano essere cataclismi interni che causavano le variazioni dell'Astro: inoltre nelle fotografie raccolte da Vogel (1891), le righe oscure dello spettro di Algol si sono dimostrate spostarsi verso il rosso nei minimi, verso il violetto nei massimi, accusando nel 1° caso un allontanamento, nel 2° un avvicinamento della stella a noi. Come spiegare il fatto? Pensate al Sole che oscilla qua e là nei cieli sotto l'attrazione dei pianeti: ricordate Sirio che si sposta in sensi opposti sotto il fascino del suo satellite: fate che anche Algol risenta delle attrazioni di un pianeta oscuro o almeno di luce assai debole, ed eccovi spiegate le sue oscillazioni di luce e insieme di posizione. Aggiungerò che dal confronto dei diversi elementi si è poi anche riusciti a conoscere per Algol il diametro di 1569000 km. ed una massa che è 4/9 della solare; — per il suo satellite il diametro di 1177000 km., la velocità di km. 89 per secondo e la massa 2/9 della solare; infine di 5562000 km. la distanza dei loro centri.

Dunque alcune stelle hanno certamente i loro satelliti, e si è potuto misurare la massa e quindi il peso di questi e delle stelle attorno a cui essi gravitano.

Pesare le stelle! Siano pur poche le stelle che si sono arrese ai nostri calcoli: ammettano pure oscillazioni grandi i risultati: questa conquista però sarà sempre una delle più gloriose che l'uomo abbia fatto nei cieli e uno dei fatti che testimonierà splendidamente della superiorità infinita dello spirito sulla materia. Che sono mai i Soli di fronte all'uomo? Moli immense, ma che vanno senza saper dove: oceani di luce, ma privi d'un occhio che veda! L'uomo è nulla, ma ardito li segue, li misura, li intende; Kepler e Newton, deboli derelitti, fan bene impallidire Sirio e Vega! La distanza, la velocità, la massa, quanto insomma è materia, accasciano la nostra fantasia, che nella materia si innesta e vive: l'ordine, le leggi, le forze, no, non ci sono di peso: frutti prediletti d'una Mente suprema ed eterna, anche alla mente nostra danno pascolo e regno.

8. — Stelle multiple. — Fin qui, eccettuata la variabilità della luce, non abbiamo trovato nulla di differente dal sistema solare; ma ora ci si presenteranno dei Soli associati fra loro in sistemi doppi, tripli ed anche più complessi.

Fissate bene la ζ dell'Orsa Maggiore, ossia la stella di mezzo delle tre che fanno timone del Carro: forse, con vostra meraviglia, per la prima volta vedrete che risulta non da una, ma due stelle, che si chiamano *Alcor* e *Mizar*. Questo fatto nei cieli si ripete non una, ma cento volte, e molte (forse più della metà) sono le stelle *multiple*, ossia quelle che risultano da due, da tre... stelle, mentre apparentemente si credono una stella sola. A sdoppiarle però l'occhio da solo non riesce che in casi affatto eccezionali; il più delle volte non vi riescono che i canocchiali, ed anzi anche per i canocchiali non vi è forse mezzo migliore per misurarne la forza, che di paragonarli tra loro appunto nel potere risolutivo delle multiple [1].

---

[1] Diamo il valore dello sdoppiamento corrispondente ad alcuni diametri dell'obiettivo, avvertendo che debbono eccettuarsi quelle coppie nelle quali una delle due componenti rimane quasi eclissata dall'intensità dell'altra.

	Sdoppiamento possibile:		Sdoppiamento possibile:
Obbiettivo di 27 mm . . .	4",5	Obbiettivo di 135 mm. . . .	0",9
» 40 » . .	3,9	» 162 » . . .	0,8
» 54 » . .	2,3	» 189 » . . .	0,7
» 67 » . .	1,8	» 216 » . . .	0,6
» 81 » . . .	1,5	» 244 » . . .	0,5
» 95 » . .	1,3	» 270 » . . .	0,4
» 108 »	1,1		

Devesi pur tener conto, per l'ottima riuscita della prova, della perfetta stabilità del canocchiale, della calma e trasparenza dell'aria, dell'altezza dell'astro sopra l'orizzonte, che deve essere non minore di 40°.

Ma due stelle vicine avranno sempre vincoli tra di loro? Può darsi che sieno vicine solo per prospettiva, e può darsi invece che sieno legate tra loro anche con l'attrazione, come i pianeti al Sole. Se non avranno movimenti propri, lasceranno indecisa la loro condizione: se ne avranno, ci permetteranno facilmente di decidere se la loro vicinanza si dovrà dire puramente *ottica*, o invece anche *fisica*. Immaginate due stelle, dotate di movimenti propri affatto indipendenti: conchiuderemo che esse sono sulla medesima visuale, ma non in un medesimo sistema. Immaginatene altre due che si spostino sul cielo concordi nella direzione e nella velocità: evidentemente presenteranno grande probabilità, ed in alcuni casi anche vera certezza, per ritenere che esse costituiscano un sistema solo. Tale, ad es., la coppia *(mn)* che forma la 61 del Cigno e che si muove secondo la traiettoria rappresentata nella fig. 93

Le prime scoperte, ma isolate, in questo campo si devono a Hooke, a Cassini, a Bradley.

John Herschel, degno erede del Grande Guglielmo, morendo nel 1872 lasciava un catalogo di ben 10300 doppie: Dembowski, Secchi, Schiaparelli ed altri hanno dato numerose misure in questo campo; ed ora le stelle multiple invece di essere una rarità, sono un fatto assai comune nei cieli, e la prova più evidente dell'ordine e dell'unità che regna nell'opera di Dio.

Alcuni fatti speciali dobbiamo però ricordare.

A) Le stelle sono *doppie, triple, quadruple*, ecc., secondo il numero nel quale si trovano collegate, ed hanno il predominio i sistemi più semplici. Su 2640 stelle multiple, Struve contava soltanto 64 triple, 3 quadruple ed una sestupla. — Degnissima di nota, ad es., la ζ del Cancro. Nel centro del sistema stanno due stelle che girano l'una attorno all'altra: a notevole distanza una terza, che descrive un'orbita sinuosa e irregolare attorno alle prime.

Le stelle doppie a seconda del modo con cui si sono scoperte, come tali si possono classificare in visuali (visibili a occhio nudo), telescopiche (visibili col telescopio), fotografiche (svelate soltanto dalla lastra fotografica), spettroscopiche (scoperte dalle osservazioni delle linee spettrali). — Fra esse ha una storia caratteristica la ξ dell'Orsa Maggiore *(Mizar)*, la quale con la sua vicina *Alcor* forma una doppia *visuale*, già conosciuta dagli Arabi. Nel 1650 il P. Riccioli S. J. osservando Mizar, la scoprì come doppia *telescopica* (la prima di questa classe). Due secoli dopo (1857) il Bond la sdoppiò per mezzo della fotografia (la prima doppia *fotografata*). Finalmente nel 1889 il celebre Pickering ha fatto la prima sua scoperta di una doppia spettroscopica proprio con *Mizar*. Così questa stella forma un sistema quadruplo. La sua situazione presso il polo ha dato a questa stella il privilegio

di essere stata la prima nei nuovi, successivi, esperimenti: ottici, fotografici e spettroscopici.

La Spiga, β Auriga, Mizar ed altre stelle si sono in pari modo dimostrate doppie allo spettroscopio, il quale anche nello sdoppiamento delle stelle si è presentato di gran lunga superiore a tutti i canocchiali. Per lo spettroscopio, β Cocchiere è una doppia con il periodo di 2 giorni, Vega con quello di un giorno: lo sdoppiarsi e spostarsi periodico delle loro righe lo prova all'evidenza.

Alla ricerca delle stelle doppie ha molto contribuito l'interferometro descritto precedentemente. — Con questo venne misurata la doppia Capella (α Aurigae) che sino allora era conosciuta soltanto come una doppia spettroscopica con un periodo di 104 giorni, e le cui componenti non potevano essere separate visualmente con il metodo ordinario. La distanza media risultò uguale a 0,05 e la combinazione di queste osservazioni con quelle spettroscopiche portò alla conoscenza delle dimensioni e della distanza del sistema. Il semiasse maggiore dell'orbita risulta eguale a 130 milioni di chilometri, la parallasse 0,06, pari ad una distanza di 54 anni di luce.

Le masse delle due componenti, posta uguale ad uno quella del Sole, sono rispettivamente 4,6 e 3,6.

B) Nei sistemi doppi è molto importante il giuoco dei colori. — Richiamiamo dalla fisica che si può avere la luce bianca con la fusione di due radiazioni semplici dello spettro, per es. del rosso con il verde. Questi due colori che unendosi danno il bianco, si chiamano *complementari* l'uno dell'altro. Or bene, nei sistemi doppi — *a*) sono *frequenti* le colorazioni complementari: γ Andromeda ha rosso l'astro principale, verde il satellite; ι Cancro ha gialla la 1ª, azzurra la 2ª: — *b*) nella maggior parte dei casi queste colorazioni non sono apparenti, effetto cioè di puro contrasto, ma sono reali; coprite difatti una di queste stelle nel campo del canocchiale e vedrete l'altra conservare ancora il suo colore di prima: — *c*) i colori verde e azzurro, che nelle stelle isolate si incontrano solo in casi eccezionali, nelle doppie sono frequenti: — *d*) l'astro principale ha di solito una tinta che tende verso il rosso, il secondario una che tende verso il violetto, e indicano evidentemente due fasi ben diverse nel processo di condensazione.

Immaginiamo per un momento che il centro del nostro sistema sia costituito da due Soli, l'uno rosso e l'altro verde, come γ di Andromeda, e che la Terra giri attorno ad essi come fa la terza stellina della tripla ζ Cancro, che spettacolo il nostro nel vedersi alternare sul cielo due astri diversamente colorati! cangiando di colore le sorgenti luminose, cangerebbero di colore quasi tutti gli oggetti che ci attorniano: dai *verdi* della speranza passeremmo ai *rossi* di fuoco, e forse potremmo comporci un calendario con i soli colori

che passerebbero sulla Terra, alla stessa maniera con la quale un calendario se lo compone il naturalista badando al ritorno degli uccelli o all'aprirsi dei fiori.

STELLE DOPPIE PIÙ LUMINOSE.

Stelle	Grandezze	Distanze	Stelle	Grandezze	Distanze
Mizar	2,4-4,0	14″,5	γ Leone	2,5-4,0	3″,0
Castore	2,5-3,0	5,6	β Scorpione	2,5-5,5	13,0
γ Vergine	3,0-3,2	5,0	θ Serpente	4,4-6,0	21,0
γ Ariete	4,2-4,5	8,9	43 ι Boote	5.0-6,0	4,8
ζ Aquario	3,5-4,4	3,5	π Boote	4,3-6,0	6,0

ALCUNE STELLE DOPPIE COLORATE.

Stelle	Grandezze	Distanze	Colori
ζ Lira	5,5-5,5	44″	Giallo verde.
β Cigno.	3,3-5,5	34	Giallo-oro e zaffiro.
ψ Drago	4,8-6,0	31	Giallo e lilla.
ι Cancro	4,5-7,0	30	Arancio-pallido e turchino.
η Perseo	4,2-8,5	28	Giallo e turchino.
ο Capricorno	6,3-7,0	22	Azzurrognolo.
24 Chioma.	5,6-7,0	21	Aranciato e lilla.
α Levrieri	3,2-5,7	20	Giallo-oro e lilla.
δ Ercole.	3,6-8,0	18	Bianco e violetto.
8 Liocorno.	4,7-7,5	14	Giallo e azzurrognolo.
39 Ofiuco	5,7-7,5	12	Giallo e turchino.
γ Delfino	3,4-6,0	11	Topazio e smeraldo.
γ Andromeda. . . .	2,5-5,5	10	Rosso e verde.
54 Idra	5,2-8,0	9	Giallo e violetto.
ρ Orione	5,1-9,0	7	Aranciato e turchino.
32 Eridano.	4,7-7,0	7	Topazio e lapislazzuli.
κ Gemelli	3,8-9,0	6	Aranciato e turchino.
95 Ercole	5,5-5,8	6	Giallo-oro e azzurro.
55 Pesci	6,0-9,0	6	Aranciato e turchino.
η Cassiopea	4,7-7,0	5,6	Giallo-oro e porpora.
41 Aquario	5,8-8,5	4,8	Giallo-topazio e turchino.
α Ercole	3 a 4-5,5	4,5	Rubino e smeraldo.
ξ Boote	4,5-6,5	4,2	Giallo-rossastro.
γ Balena	3,2-7,0	3,0	Giallo-pallido e turchino.
ε Boote	3,0-6,5	2,9	Giallo-oro e zaffiro.
ο Cefeo	5,4-8,0	2,5	Giallo-oro ed azzurro.

9. — **Vita delle stelle.** — Riuniamo in uno sguardo d'insieme le notizie sparse di questo capitolo: le linee spettrali ci hanno guidato a conoscere la costituzione e la temperatura di molte stelle; metodi

geometrici coadiuvati dai metodi fisici ci hanno condotto a misurare le distanze e le dimensioni. Se per ogni stella di cui conosciamo la temperatura e la grandezza assoluta si disegna un punto individuato nel piano da lunghezze proporzionali alle temperature e alle grandezze assolute abbiamo il disegno seguente:

I punti rappresentativi delle stelle si trovano distribuiti all'incirca su di una curva a due rami, che il Russell ha chiamato curva-compasso. Questa curva non potrebbe rappresentare l'evoluzione di una stella?

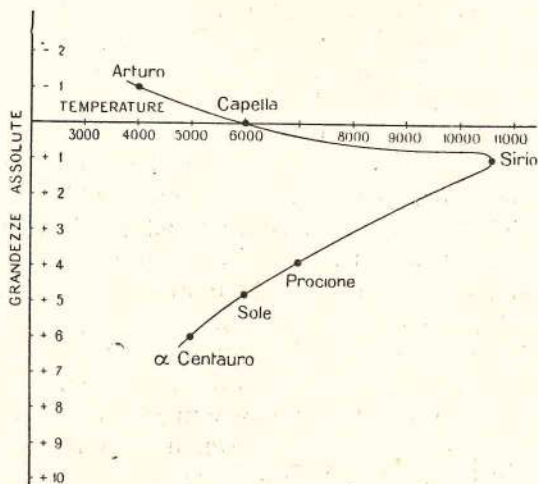
M. Alliaume interpetra la vita di una stella con l'ausilio del diagramma disegnato, argomentando nel seguente modo:

Fig. 104. — Curva di Russell.

Per narrare la storia di una stella, basta incominciare dalla estremità superiore della curva, che corrisponde al punto in cui la temperatura è sufficente per render visibile l'astro; a questa bassa temperatura la stella è rossa, ma la sua densità è piccola: è una stella gigante il cui volume è enorme e la luminosità complessiva è molto intensa e corrisponde alla grandezza assoluta di — 1. A questa primavera di vita stellare si trova Arturo coi suoi 4000° di temperatura.

Nel decorso della vita della stella la densità diminuisce e la contrazione eleva la temperatura, lo spettro si allunga a partire dal rosso, ma l'aumento di temperatura che per la legge di Stefan produce un aumento di splendore assoluto, non riesce a compensare la luce complessiva emessa da una superfice molto diminuita, quindi la grandezza assoluta discende verso 0: le due componenti del sistema Capella con le loro temperature di 5000° e 7000° si trovano a questo stadio della gioventù stellare.

Facciamo continuare i fenomeni sopradetti nello stesso senso, la stella diviene bianca e ci incontriamo allora in Sirio con i suoi 10500° di temperatura; questa stella è al culmine della curva e rappresenta il periodo della massima vitalità, l'ingresso nell'età matura.

Continua la vita della stella e la contrazione che non cessa produce ancora del calore: la superfice irraggiante e lo splendore

intrinseco continuano a decrescere; ma la densità diviene troppo grande perchè si possano ancora applicare le leggi dei gas perfetti, e lo sviluppo di calore dovuto alla contrazione è insufficente a compensare quello perduto per irraggiamento, quindi la temperatura diminuisce, lo spettro si raccorcia dalla parte del violetto e la stella è oramai nella classe delle stelle gialle, come Procione, il nostro Sole e le due componenti il sistema α Centauro con le loro grandezze assolute comprese fra 4 e 6 e le loro temperature comprese fra 5000° e 7000°. Coll'aumentare della contrazione il raffreddamento continua, lo spettro visibile ritorna verso il rosso, ed eccoci alle stelle vicine ad estinguersi, come le due componenti (principali) del sistema (triplo) di Krüger 60, nella costellazione di Cefeo, con una grandezza assoluta di 10-11 e una temperatura ridotta a 3000° (1).

Che cosa sarebbe dunque il cielo stellato, da questo punto di vista? Un giardino fiorito, come lo chiamava Herschel, in cui alcuni fiori sono per aprirsi, altri mostrano il completo svolgimento della loro corolla, altri infine si ripiegano sullo stelo; non pochi sono isolati, parecchi si presentano in coppie o a infiorescenze, e come il fiore lascia cadere il frutto, così da questi fiori celesti si staccano i pianeti nei quali si estingue la vitalità luminosa e termica del nucleo centrale, corpi morti in confronto della stella, ma che nella loro quiete preparano forse, le condizioni di vita ad organismi che nel creato sono una meraviglia nuova, a quel regno vegetale ed animale sul quale aleggia il genio dell'uomo.

E quando le creature intelligenti da ciò che intorno ad esse si agita e vive traggono argomento per innalzarsi a Colui che è fonte inesauribile di ogni energia vitale, allora, e solo allora possiamo dire che dall'Universo si eleva a Dio il Cantico della Vita.

---

(1) *Revue des questions scientifiques,* juillet 1926, pag. 164.

CAPITOLO IX

Nebulose e movimenti delle stelle

1. *Movimenti stellari.* — 2. *Via Lattea.* — 3. *Nebulose.* — 4. *Via Nubila.* — 5. *Nebulose spirali.*

1. — Movimenti stellari. — Spezzando i cieli solidi, il sistema di Copernico lasciava libere le stelle di correre gli spazi. Per noi di *stelle fisse*, non ne esistono più: tutte *si muovono a diversi porti* con velocità, con direzioni, con traiettorie diverse; e se alla osservazione comune si nascondono questi movimenti, gli è solo perchè la distanza enorme eccessivamente li impiccolisce. Halley per il primo, esaminando le posizioni di Arturo, Sirio e Aldebaran, trovò che non erano più quelle assegnate da Ipparco, e ne inferì che quegli astri si fossero spostati sul cielo. Identica conclusione dedussero Cassini confrontando le proprie determinazioni con quelle di Ticone, Mayer con quelle di Römer: constatato, il fatto subito affascinò gli studiosi e interessò largamente, e concordi gli astronomi lo considerarono di tale importanza da ritenere che uno dei compiti più gravi degli indagatori del cielo dovesse essere questo appunto — di determinare le posizioni che le stelle occupano successivamente sulla volta del cielo per dedurne gli elementi dei loro viaggi. — Pulfrich e Max Wolf introdussero nelle ricerche astronomiche un metodo che rende visibili, a tutti, i movimenti di alcune stelle. Supponiamo che una determinata regione del cielo sia stata fotografata; e, dopo un certo numero di anni, si fotografi di nuovo nelle stesse condizioni con lo stesso canocchiale; le due lastre messe parallele al piano focale delle lenti di uno stereoscopio e guardate non dovrebbero presentare alcuna particolarità; invece talvolta avviene che allo stereoscopio si veda una stella staccata dal fondo, sul quale sembrano essere rimaste le altre. Che significa ciò? L'immagine di quella stella non si trova sulle due lastre precisamente allo stesso posto rispetto alle altre; dunque la stella che si vede in rilievo si è mossa nello spazio.

Lo stereoscopio così adoperato dicesi **stereocomparatore;** esso rivela benissimo uno spostamento di 3″ sulla sfera celeste. Lo stereocomparatore divenne poi **stereomicrometro** e infine **stereogoniometro** per opera di J. Comas-Solà, il quale, con questo dispositivo, è riuscito a trovare la direzione in cui si muove una stella. Apparentemente i movimenti delle stelle sono debolissimi; col tempo però muteranno l'aspetto del cielo e quindi la forma delle costellazioni (fig. 105). — La stella che porta il n. 1830 del Catalogo di Groombridge – una stellina di 6ª, vicina ai *Levrieri* – si sposta di 7″,05 all'anno ed impiegherà dunque quasi tre secoli a tramutarsi sul cielo, di un tratto eguale al diametro apparente della Luna. Due altre stelle hanno un movimento di 6″, due di 5″: più numerose sono quelle che hanno movimenti minori, e di stelle che si spostano di più di 2″ se ne conoscono già più di 12. Nella carta dell'emisfero celeste settentrionale (Tavola Vª e IVª) sulla linea delle ore 21, cercate la 61 del Cigno e poi vedete di riscontrarla anche in cielo: è piccola – di 5ª – ma è delle più interessanti: ha il movimento annuo di 5″,20 diretto da SW verso NE, com'è indicato nella fig. 93 ed ha servito anche ad altri studi preziosi, come già vedemmo. Degno di nota è pure il movimento delle stelle dell'Orsa Maggiore. Tirate la diagonale δ-β e prolungatela per ε e ζ: ebbene, le quattro stelle, così riunite, si muovono tutte concordemente verso la ζ: parallelamente ad esse e nel medesimo senso si muove anche la γ; mentre le due estreme α ed η si muovono bensì parallelamente alla diagonale tracciata, ma a ritroso delle altre.

Fig. 105. — La costellazione dell'Orsa Maggiore. I. 50000 anni or sono; II. adesso; III. tra 50000 anni.

A dare diverso valore a questi movimenti apparenti concorrono diversi fattori: — tali la distanza dell'astro, la grandezza del suo

movimento reale ed infine la direzione di questo movimento. Supponete che l'astro si sposti non *lateralmente*, ma *lungo la visuale* che l'unisce a voi: per voi quell'astro sarà immobile ed il suo sposta-

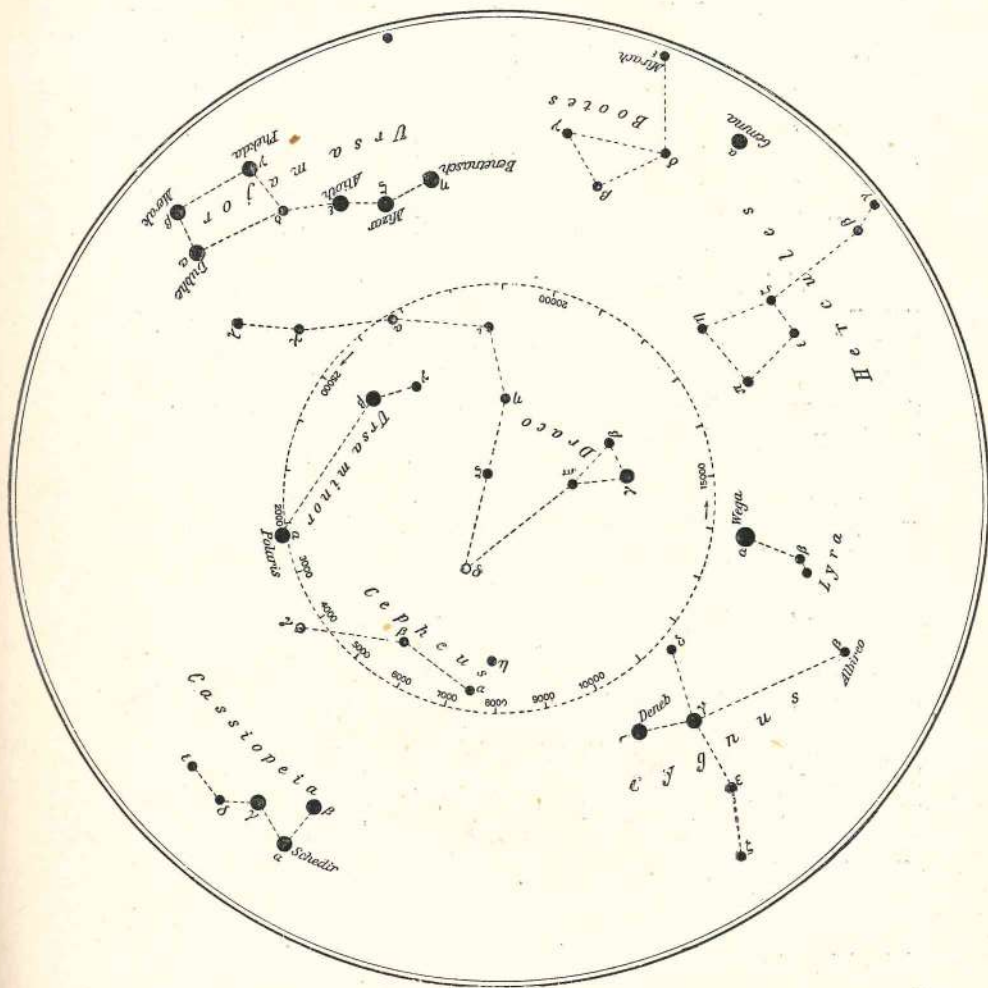



Fig. 106.

mento, per quanto rapido, sfuggirà totalmente alle vostre pupille! Alle pupille, ma non allo spettroscopio, che qui renderà preziosissimo servigio. Si allontana? Ed ecco nello spettroscopio uno spostamento delle righe di Fraunhofer verso il rosso. Si avvicina? Ed

ecco serrarsi le righe salendo al violetto. Questa determinazione della *velocità di spostamento secondo il raggio* **(velocità radiale)** delle stelle è una delle più belle conquiste della nostra età; si pensi difatti che per essa basta osservare allo spettroscopio o meglio raccogliere con la fotografia lo spettro di una stella per poterne subito inferire se la stella si avvicina o si allontana e con quale velocità!

Nel 1914 gli astronomi di Mt. Wilson avevano ottenuto parecchie migliaia di spettri per la determinazione delle velocità radiali. Con numerose osservazioni e con calcoli arditi, Adams e Shapley giunsero a risultati soddisfacenti; per migliaia Adams ottenne e studiò gli spettri delle velocità radiali: per centinaia Shapley calcolò le orbite delle stelle variabili; per decine di migliaia si contano le sue determinazioni fotometriche.

Così si è constatato che si avvicinano al Sole, con velocità che variano da 70 a 90 km. per secondo, Arturo, Vega, Polluce, α dell'Orsa Maggiore ecc.; e che invece se ne allontanano, con velocità di km. 20-30, Sirio, Rigel, Castore e le 5 dell'Orsa Maggiore β, γ, δ, ε, ζ, che già sopra abbiamo trovate concordi anche nella direzione del movimento sul cielo.

L'α della Gru ha un movimento maggiore di 64 km. al secondo; la 61ª Cigno 82 km.; Arturo 413: in 4 giorni andrebbe dalla Terra al Sole; la 15290 Laland 332; la 1830 Groombridge 255; μ Cassiopea 116.

E con le altre stelle si muove anche il nostro Sole. Quale la prova? Eccola. Supponete di trovarvi in una immensa campagna, circondata di filari di alberi, e di partire da uno di questi filari per andare all'altro dell'estremità opposta. Quale l'impressione che questi alberi vi faranno? Quelli dai quali vi allontanate, li vedrete man mano confondersi, unirsi, quasi saldarsi tra di loro come a costituire un corpo unico; quelli invece verso i quali vi dirigete, li vedrete man mano disgregarsi, distinguersi tra di loro e presentarsi sempre più lontani gli uni dagli altri. Un movimento *concorde* di raggruppamento anima gli oggetti dai quali vi allontanate, e un movimento *concorde* di disgregamento anima invece quelli ai quali vi avvicinate. — Applichiamo. Nei cieli, oltre ai movimenti *discordi*, che quindi si devono riconoscere come propri di ciascuno degli astri, si è anche riconosciuto che sopra due aree, diametralmente opposte, vi sono movimenti *concordi*, i quali nell'una avvicinano, nell'altra allontanano tra di loro le stelle. Come interpetrare il fatto? Ragion vuole che questo fatto si consideri come soggettivo e non come oggettivo, e che quindi si faccia dipendere non dal movimento di *miriadi* di stelle, ma da quello di un *unico* Sole, che attraverso agli spazi anela ansiosamente ad

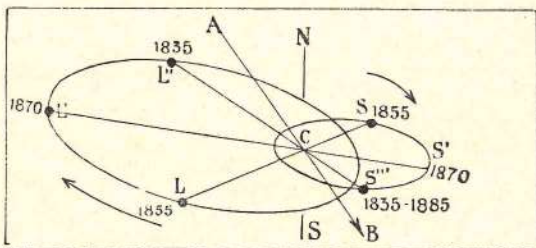
altri lidi e seco trascina nel pellegrinaggio faticoso tutto quanto il corteo de' suoi pianeti devoti. — Si chiama **apice** il punto di cielo verso il quale il Sole si muove: le coordinate di questo punto determinate da Struve, da Bakhuyzen, da Porter e da altri, hanno il valore medio di 266°, 7 in AR e di + 31° in D: dopo di loro il Boss ha però proposto di convertire questi valori negli altri di AR = 280°; D = + 40°; Newcomb in AR = 277°,5 e D = + 38° (1). Altre determinazioni furono eseguite più recentemente; ma nessuna può dirsi definitiva. Secondo i valori di Newcomb l'apice si trova nella costellazione della Lira in vicinanza della stella Vega; e nella Tavola I lo vedrete distinto con un segno speciale.

Quanto alla velocità, Struve, Gylden, Mädler ed altri la farebbero prossimamente di 25 km. per secondo, ed ammetterebbero che così, osservato da una stella di 6ª grandezza, il nostro Sole sarebbe visto spostarsi sulla volta del cielo di 5″ circa per ogni secolo. Maxwell Hall crede di poter raddoppiare questa velocità; e lo spettroscopio finora non ha potuto decidere la questione, dando esso per risultato (Homann e Kövesligethy) velocità oscillanti tra km. 24 e 65.

Fig. 107.

Il Sole non è solo nel suo viaggio; parallelamente a lui, e nel medesimo senso, si muovono altre stelle che, tutte insieme, formano una **corrente stellare**. Nè questa corrente è un fenomeno isolato nei cieli.

Kapteyn, direttore del *laboratorio* astronomico di Groningen mostrò che altre stelle che si muovono nelle vicinanze del nostro sistema solare appartengono ad uno dei due grandi gruppi o correnti stellari, che chiamò K_1, K_2. Una viene dalla costellazione di Orione verso di noi, e l'altra segue una direzione differente, quasi ad angolo retto (100 gradi) con la prima, allontanandosi dalla costellazione dello Scorpione.

Nel capitolo precedente, abbiamo studiato le stelle con un criterio prevalentemente statico, potremmo dire anatomico, come chi studia al microscopio la cellula d'un organismo: rimettete quella cellula nel suo tessuto, e l'organismo vivente a cui essa appartiene

(1) Calendario del R. Osservatorio Astronomico del Campidoglio. Anno 1927.

vi svelerà concetti sintetici di biologia, di cui il solo microscopio non vi poteva far prevedere l'idea. Incanalate la stella nella sua corrente, e questa vi si presenterà come il primo sintomo d'una legge che potrebbe armonizzare tutti gli astri fra loro. Considerando ora i gruppi di stelle, li troveremo ben distinti gli uni dagli altri, e sarebbe puerile il pensare che la loro vicinanza potesse spiegare da sola il formarsi di questi gruppi. L'astronomia moderna non si è ancora impossessata della legge che regola il movimento delle stelle; ma ce ne fa intuire l'esistenza, ed il nostro spirito ne sente il bisogno. Se gli antichi si sentirono costretti a collegare le stelle con una sfera di vetro, noi, che abbiamo infranto questa sfera, aneliamo al giorno in cui potremo collegare le stelle con una legge più sintetica di quelle che incatenano i pianeti al nostro Sole, più generale forse dello stesso principio di Newton, una legge degna delle conquiste dei nostri uomini di genio, e nella quale risplenderà un nuovo raggio della Sapienza Divina.

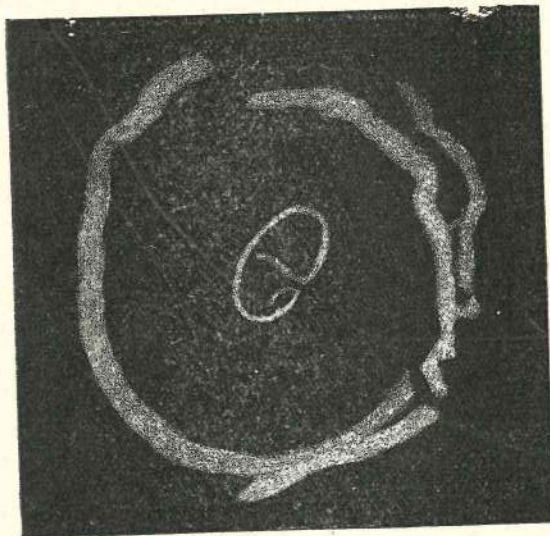



Fig. 108. — Disegno schematico dell'anello della Via Lattea secondo Proctor.

2. — Via Lattea. — Prima sopra una carta del cielo, poi sul cielo prendete cognizione della **Via Lattea,** di questa striscia biancastra, che sempre e dovunque ha destata l'attenzione dei popoli. — È approssimativamente un circolo massimo sulla sfera celeste e varia nella sua larghezza da 4° a 16°. Divisa in due rami tra il Cigno e lo Scorpione, spezzata nella Nave, rotta da macchie oscure tra il Cigno e Cefeo e soprattutto dai *sacchi di carbone* presso la Croce del Sud, viva in molte plaghe, in altre sfumata, la Via Lattea è ben lontana dall'essere omogenea, e più che un anello unico, alcuni la vorrebbero considerare come un rosario di macchie distinte o come una spirale.

Il nome di Via Lattea dato dagli antichi, indica esattamente l'aspetto di questa bellezza di cielo: che cosa però essa si fosse, i più

tra gli antichi non lo seppero dire. Chi la volle una goccia di latte divino, chi un riflesso della luce solare, chi una zona abbruciata dal Sole, e chi una materia delle medie regioni. Democrito per il primo, considerandola come un ammasso di stelle numerosissime e lontane tanto da confondere i loro raggi, la interpetrò esattamente e ne diede la spiegazione, che poi Galileo con il canocchiale avrebbe confermata. Puntate su quella fascia il canocchiale: vedrete che miriadi di punti brillanti verranno ad agitarsi davanti a voi!

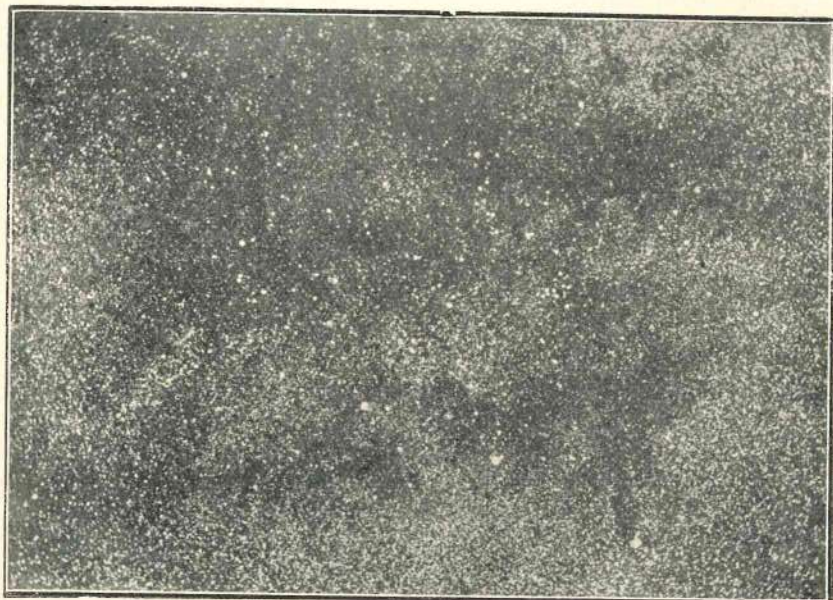



Fig. 109. — La Via Lattea nella costellazione di Cefeo.

Ma dopo Kepler, Kant, Herschel, Struve ed altri, la Via Lattea ha acquistata un'importanza affatto nuova: si è tentato di collegarla a noi con rapporti affatto speciali. Se la Via Lattea forma sul cielo *quasi* un circolo massimo, segno è che noi ci troviamo *prossimamente* nel di lei piano, ossia che il nostro Sole fa parte di quel sistema di stelle che sono disseminate nella Via Lattea e che chiameremo **sistema galattico**. Lungo una retta, normale al piano di questo sistema, trasportiamoci lontani non decine, ma milioni di anni di luce; la Via Lattea di là come ci si presenterebbe? Come una macchiolina biancastra, formata da milioni e milioni di stelle, una delle quali, *in relativa prossimità* del centro, sarebbe il nostro Sole. Quale la forma di questa macchiolina? Quali i suoi movimenti? Nel rispondere a queste domande divergono i grandi dell'astronomia.

Principali ammassi di stelle	AR. 1920	D. 1920	Principali ammassi di stelle	AR. 1920	D. 1920
Ammasso di Perseo	$2^h\ 15^m$	+56° 45′	Ammasso di Ercole	$16^h\ 39^m$	+36° 35′
» Toro (Pleiadi)	3 42	+23 51	» Ofiuco	16 57	−26 10
» Cocchiere	5 23	+35 45	» »	17 14	−18 25
» »	5 47	+32 30	» »	17 52	−19 0
» Gemelli	6 4	+24 20	» Sagittario	17 59	−24 20
» Liocorno	6 28	− 4 55	» Aquila	18 46	− 6 20
» »	6 59	+ 8 11	» Acquario	21 29	− 1 10
» Cancro	8 35	+20 15	» Lucertola	22 12	+49 30
» »	8 47	+12 5	» Cefeo	23 21	+61 10
» Cani da caccia	13 38	+28 45	» Cassiopea	23 53	+56 15

Tutti convengono nell'ammettere che l'ammasso galattico non è sferico, ma schiacciato fortemente nella direzione dei poli; ma se poi sia discoidale o lenticolare, come per un momento hanno pensato Herschel, Wright e Lambert; o a forma di C, come ha opinato il Proctor (fig. 103), o allungata ad ellisse irregolare, com'ebbe poi infine a credere l'Herschel; se abbia o no corpo centrale, come disputarono Kepler, Herschel e Mädler; se tutta sia dotata d'un movimento intorno ad un centro interno, o piuttosto se si avvolga intorno ad un centro esterno, centro universale dei cieli, è ciò appunto che si discute ancora. Tenuto calcolo però delle ineguaglianze che la Via Lattea presenta, pare si possa credere che questa nei cieli si presenti come una massa fortemente schiacciata, allungata, a contorni sinuosi, che possono farci pensare ad una spirale.

Attualmente si è tentato di assegnare qualche dimensione al sistema galattico: il suo diametro, secondo Charlier, avrebbe una lunghezza di 1000 parsecs, e lo spessore sarebbe di 300 parsecs. La Via Lattea assumerebbe la forma di una spirale, al centro della quale potremmo porre Canopo (Gore: *The visible Universe*). Altri estende le dimensioni del diametro del sistema galattico a 10 mila ed anche a 150 mila parsecs. La velocità con cui questo sistema stellare è trascinato dal suo centro nello spazio, sarebbe di 1000 chilometri al minuto secondo [1].

3. — **Nebulose.** — Voi conoscete di certo l'aggruppamento delle Pleiadi, che alla vista debole si presenta come una macchiolina biancastra e sembra un frammento della Via Lattea isolato nei cieli: di macchioline simili, ma più piccole, più piccole assai, un occhio penetrante ne riscontrerà una nel Cancro, una nella testa di Orione ecc. già riconosciute e catalogate da Tolomeo; due belle, dette le *nubi di Magellano* (benchè non scoperte da questo viaggiatore), ne troverà ai lati dell'Idra maschio, presso il polo australe; una infine ne vedrà presso la ν di Andromeda, allungata a fuso, scoperta da Simon Mario il 15 dicembre 1612 e paragonata *alla fiamma di una candela vista attraverso ad una lamina di corno.*

Delle nebulose alcune sono in modo speciale importanti a conoscersi. — Tale *a)* quella dei Levrieri a forma di *spirale* assai pronunciata e somigliante a nastri sfrangiati e ondeggianti che si vadano ravvolgendo attorno ad un centro: — *b)* la *Dumbbell* della Volpetta ristretta nel mezzo, allargata alle due estremità: — *c)* diverse *doppie* che accusano due centri di condensazione, come quella che ha le

(1) V. Zeipel in « *Scientia* », dicembre 1920.

coordinate AR = 1^h 16^m, e D = + 89° 46′: — *d*) le *anulari*, che sembrano dischi vuoti, talvolta con qualche bagliore od anche con qualche stellina nel centro, come quella che trovasi a 18^h 48^m 20^s di AR e +32° 51′ 2″ di D: — *e*) quella di Andromeda (fig. 116), già accennata, a forma di fuso, con una forte condensazione nel centro e con una larga distesa di materia man mano più sottile nel senso dell'asse maggiore. — Con un semplice binocolo da teatro, osservate alcune di queste nebulose, per es. quella di Andromeda o di Orione. È importante il formarsene un'idea, per quanto imperfetta, anche con le proprie osservazioni.

Il catalogo di questi corpi misteriosi, che furono chiamati **nebulose**, si accrebbe più rapidamente con l'uso dei canocchiali nell'esame sistematico dei cieli. Evelio nel 1687 numera 16 nebulose: La Caille nel 1755 le porta a più di 60: un centinaio lo aggiungono poco dopo Méchain e Messier, e 2500 da solo le aggiunge poi Herschel scandagliando gli spazi dal 1773 al 1802. E siamo ben lontani dall'aver esauriti i cieli! Il figlio di Herschel nel 1864 pubblica un catalogo che fa salire le nebulose a 5076: il Dreyer nel 1887 le porta a 7840; a 9369 si trovano sul principio del 1895, e si ha già tutta ragione di credere che le fotografie della nuova *Carta del Cielo*, e le osservazioni che si faranno con mezzi più potenti ingrandiranno quel numero di molto ancora.

Importante lo studio della distribuzione delle nebulose. Anzitutto, se consideriamo le singole nebulose separatamente, colpisce subito il loro isolamento. Per arrivare ad una, diceva John Herschel, bisogna pur sempre attraversare un deserto. Ed anche il 1° Herschel, allorchè passando con il telescopio il cielo, si incontrava in regioni sterili, alla sorella che gli serviva da segretario, diceva: « Preparatevi a scrivere: la nebulosa s'avvicina! » È circostanza questa che merita nota. — Come sono distribuite le nebulose nel cielo? Vi sono anche qui ricchezze sfondolate e squallori desolanti, contrasti spiccati che provano come la perequazione sociale non esista neppure nei campi sereni e spassionati dei cieli. Ricchissime di nebulose sono la regione della Vergine con il contorno della Chioma di Berenice, dei Levrieri, dei due Leoni, la regione dei Pesci con il contorno di Andromeda, di Pegaso ecc.; sterili invece l'Ariete, il Toro, il Cocchiere, Perseo, Ercole, l'Aquila, la Lira. Fissate su di una carta questi punti e vedrete, non senza meraviglia, che le nebulose, all'opposto delle stelle, sono più numerose lontane dalla Via Lattea, ed anzi che i grandi ammassi di nebulose formano come due calotte appunto in vicinanza dei poli della Via Lattea.

Che cosa sono le nebulose? « Una nebulosa non è altro che un aggregato di molte stelle minute invisibili a noi » e la « piazzetta

biancheggiante..... deriva dal congiungimento de' fulgori, di che ciascheduna stellina s'inghirlanda » [1]. Questo pensiero di Galileo dominò a lungo nelle scuole, e fece dividere le nebulose in *risolvibili* e *non risolvibili*, secondochè il canocchiale riusciva o no a disgregarle in altrettante stelle: quanto alla natura, tutte però si giudicavano identiche, e le non risolvibili si dicevano tali non in sè, ma solo per noi, per la debole penetrazione dei nostri strumenti. Introdotto

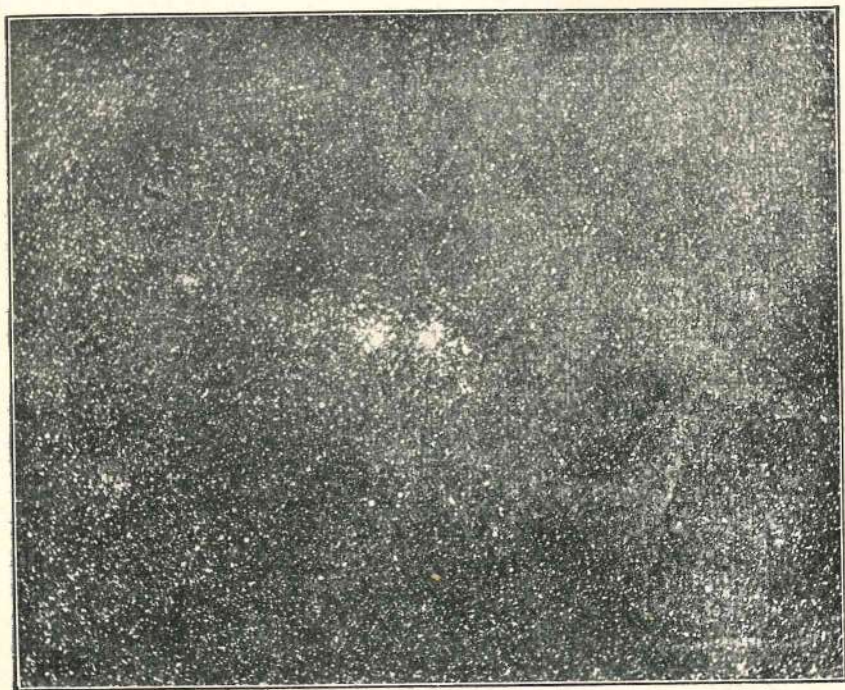



Fig. 110. — Ammasso di Perseo.

lo spettroscopio nello studio dei cieli, la divisione antica dovette essere modificata, e si comprese - ciò che qualche genio aveva pure divinato - che negli spazi vi sono invece anche delle vere nebulose; ed attualmente le nebulose si dividono quindi in *ammassi* o *gruppi stellari,* formati da vere stelle, sieno o no risolvibili — ed in *nebulose propriamente dette,* formate da materia diffusa e non ancora condensata. Queste, nel Catalogo del 2° Herschel del 1864, vi comparivano per 4/5, crano 4042 sul totale di 5076.

---

[1] *Saggiatore,* n. 12. Milano, « Classici », VI, 269.

A) — Gli *ammassi stellari* per lo più hanno forme regolari, globulari o lenticolari, facilmente più serrati nella parte centrale. Shapley li classifica così:

1° *Ammassi globulari*, come l'ammasso Messier 3 o quello della costellazione d'Ercole, con grande condensazione stellare e un numero grandissimo di stelle.

2° *Ammassi aperti*, come Messier 11 o l'ammasso del Presepio, con grande varietà nella condensazione e nel numero delle stelle.

3° *Ammassi mobili*, come il gruppo del Toro e le Pleiadi.

A rigore la 3ª classe non è che una derivazione della seconda, e di più tutti gli ammassi sono certamente mobili; ma la divisione è necessaria per distinguere gli ammassi con moto comune misurato da quelli nei quali tale moto è finora supposto.

Gli ammassi globulari sono sparsi senza legge visibile intorno al centro della Via Lattea; noi li vediamo tutti sull'emisfero il cui centro è nella direzione del Sagittario, perchè il centro della Via Lattea si troverebbe, secondo alcuni, in questa direzione ad una distanza di circa 20 mila parsecs. È ancora incompleta molto la conoscenza della forma e dell'estensione dell'insieme delle nubi stellari e degli ammassi globulari che sembrano contornare la Via Lattea, ma ormai non è più che questione di tempo il fissarne le distanze, lo spessore e le situazioni reciproche.

ω Centauro, che ad occhio nudo è una stella diffusa di 4ª grandezza, situata al lembo della Via Lattea, fotografata mostra in un campo appena più grande di quello della Luna piena, un mucchio di 6400 stelle distinte; e forse sono questi soltanto gli astri della periferia; quelli del centro si confondono in una plaga brillante interna: tra esse vi sono 132 variabili, di periodo molto breve. Nell'ammasso 13 Messier, Palmer su lastre prese al grande riflettore Crossley contò 5482 astri distinti di grandezza 13,5 in media. Le Nubi di Magellano offrono uno spettacolo fantastico. In una sola nebulosa della Nube maggiore, la quale ne racchiude delle centinaia, i clichés mostrano un'agglomerazione di 300 mila Soli; la Nube piccola è quasi egualmente ricca, e 280 mila Soli sono stati già noverati.

Il problema della determinazione della distanza degli ammassi stellari ha tormentato per lungo tempo gli astronomi, giacchè è evidente che questi ammassi sono tanto remoti, che sarebbe inutile di applicarvi i metodi trigonometrici. — Ma in questi ammassi vi sono delle variabili a corto periodo: ora a queste variabili si può applicare la legge della Leavitt [1] per determinarne la temperatura, lo

---

[1] V. Moreux, *Où en est l'Astronomie.* — V. anche capitolo precedente § 6 pag. 241.

splendore intrinseco e quindi la distanza; conosciute le distanze delle diverse variabili di un ammasso rimane conseguentemente individuata anche la distanza di esso. — All'applicazione della legge della Leavitt si è consacrato in modo speciale l'astronomo americano H. Shapley, che si è servito dei potenti strumenti degli osservatori di Monte Wilson e di Harvard College.

Con questi criteri la nube stellare del Cocchiere sarebbe distante circa 1500 parsecs, quella dell'Aquila 5000 parsecs, secondo Shapley;

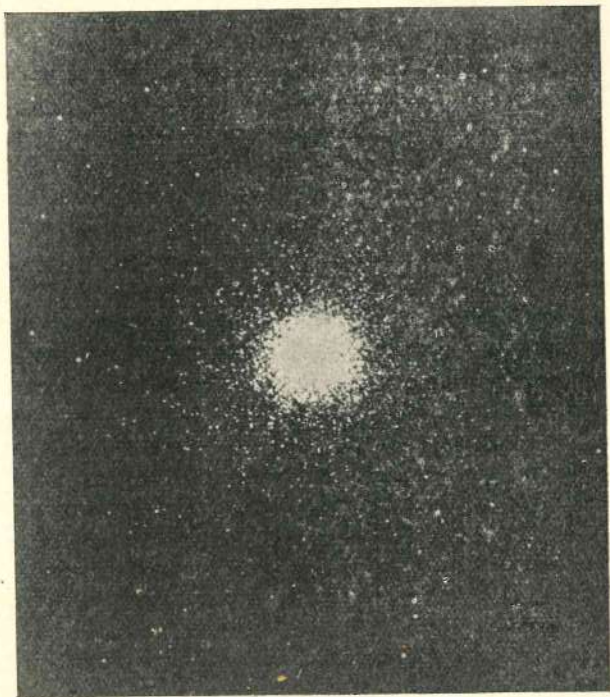



Fig. 111. — Gruppo stellare globulare M 13, di Ercole. (BARNARD, *Sick* Vol. VIII, Pl. 53).

quella del Cigno 7000 parsecs, secondo Lundmark. Nell'emisfero australe la piccola Nube di Magellano trovasi, secondo Shapley, a una distanza di 19000 parsecs. Gli ammassi stellari delle Jadi e delle Pleiadi, sarebbero distanti il primo circa 30, il secondo circa 50 parsecs. Messier 3, nei Cani da caccia, e Messier 13 in Ercole, sarebbero sistemi giganteschi misuranti circa 100 parsecs di diametro e comprendenti ciascuno dei milioni di stelle. L'ammasso globulare più vicino troverebbesi ad una distanza di 6500 parsecs, ed il più lontano a 70000.

Gli ammassi delle due Nubi di Magellano sono distanti 62 mila anni di luce. Quanto alle dimensioni, la luce metterebbe 8 mila anni per attraversare la Nube maggiore, 4 mila per attraversare la minore [1].

Che immensità! Le dimensioni della Via Lattea sarebbero, dice Arrhenius, rispetto al nostro globo, come questo rispetto a un atomo. L'Universo dell'Astronomia odierna di dimensioni finora mai immaginate, sembra quasi un Universo nuovo rispetto a quello dell'astronomia di pochi anni fa.

B) — Le *nebulose propriamente dette* hanno le forme più diverse, e si dividono in *planetarie,* se discoidali e con qualche punto brillante, quasi fossero stelline circondate da densa nebbia, *ellittiche,* se allungate in un senso, condensate al centro e sfumate all'orlo, ed *irregolari,* se a materia inegualmente distribuita e senza condensazioni accentuate. — La luce di queste nebulose è assai varia: si dubitò se con il tempo avesse presentato cangiamenti di splendore la nebulosa di Andromeda: lasciando però anche come dubbio questo caso particolare, che per altro è confermato dalle fotografie di J. Roberts, altri fatti si sono raccolti che non permettono più di dubitare della realtà di siffatte oscillazioni. Nel 1852 Hind scopriva nel Toro una nebulosa, che ogni canocchiale poteva allora rilevare facilmente: nel 1861 a quella nebulosa non arrivava che il grande rifrattore di Pulkova: nel 1868 la stessa riusciva affatto invisibile; ritornava poi in seguito debolmente visibile nel 1890, bella nel febbraio 1895, debolissima nel marzo seguente. — Vicinissime a questa esistono altre due nebulose dette, dai nomi degli scopritori, l'una di Struve (1868), l'altra di Burnham (1890), presso τ del Toro; ed esse pure hanno presentato importanti variazioni. — Fatti analoghi hanno scoperto Winnecke, D'Arrest, Schmidt. — Anche qui per la spiegazione ci troviamo al buio. Vi sono là forse oscillazioni nei periodi di condensazione? E le variazioni di una nebulosa sono indipendenti o sono collegate a quelle delle altre? E queste variazioni non si potrebbero collegare con movimenti orbitali, o delle particelle che costituiscono la nebulosa, o di un corpo estraneo ed oscuro che, variando distanze, determinerebbe fluttuazioni immani in quelle nullità celesti?... Lo spettroscopio ed un catalogo esatto dei periodi delle variazioni nebulari, permetteranno in seguito di decidere a quale di queste ipotesi dare la preferenza, o forse un'altra ne suggeriranno che meglio darà ragione dei fatti.

Ciò però che più d'ogni altra cosa fa stupire allorchè si pensa alle nebulose, si è la loro estensione davvero enorme. Finora noi non abbiamo parallasse di nessuna con sicurezza, e le determinazioni

---

[1] V. Cap. VIII, § 6.

del 1892-93 che sembrano aver dato qualche buon risultato per due, ci obbligherebbero a ritenere che le nebulose sono lontane *non meno*, anzi probabilmente *di più* di alcune stelline. Or bene: la nebulosa planetaria del Sagittario ($AR = 19^h\ 36^m\ 3^s$; $D = -14° 28' 52''$) ha il diametro di quasi 26″: concediamole pure la parallasse, certo esagerata, di 1″, ed eccola larga quanto l'orbita di Urano! Il gigante delle nebulose planetarie, nell'Acquario (N. G. C. 7293), ha un diametro apparente di 15′, mentre il suo diametro lineare è 375 volte,

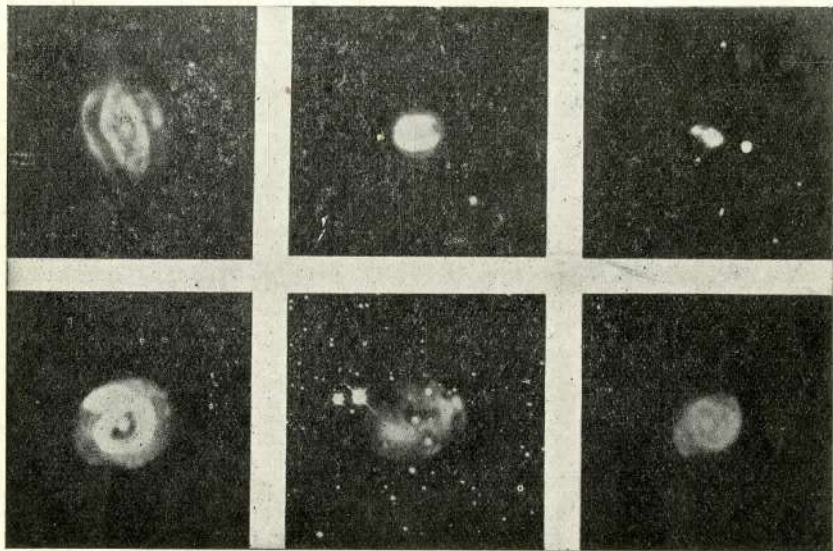



Fig. 112. — Diversi tipi di Nebulose planetarie fotografati col riflettore di 60 poll. di Mt. Wilson. (Mt. Wilson Contrib. 7, Pl. VII).

circa, più grande dell'orbita di Nettuno. Quella di Orione ha la sua lunghezza di 5° interi. Supponete quest'ultima con una parallasse di 0″,5 ed eccola di 5328000000000 km. nel senso della sua massima estensione! Un treno che avesse la velocità di 60 chilometri all'ora, impiegherebbe 10 milioni d'anni a percorrerla.

La più lucente e la più grande di tutte le nebulose è 30 Doradus nella maggiore Nube *Magellana*. Col suo splendore supera Orione ben dieci volte. Avvicinata fino alla distanza di Orione coprirebbe tutta questa costellazione, e alla sua luce notturna i corpi terrestri getterebbero ombra.

Classificazione spettrale. — Nella già citata [1] classificazione del

[1] Cap. VIII, § 5.

Henry Draper Catalogue le lettere P e Q indicano le nebulose planetarie, ellittiche e discoidali purchè gassose e le lettere R e N indicano un ramo secondario e poco numeroso, in condizioni ancora mal definite. Gli spettri delle differenti nebulose offrono, nella parte visibile, tre righe comuni particolarmente caratteristiche, che hanno per lunghezza d'onda in **Angström,** cioè in decimilionesimi di millimetro, 5007,5; 4959,52; 4861,50 (F dell'idrogeno). La nitida coppia

Fig. 113. — La grande nebulosa di Orione.

3726,10; 3728,84 viene attribuita ad un elemento che si crede caratteristico delle nebulose e che si chiama il *nebulio.* In questi spettri si incontrano ancora le altre componenti della serie dell'idrogeno, ed anche una trentina di righe, variabili da una nebulosa all'altra, che possono offrire una notevole intensità, per es. le righe violette dell'elio 4472 e 4388 nella grande nebulosa di Orione. La lettera Q è una designazione quasi abbandonata per certe stelle nebulose.

Secondo quanto scrive Moreux [1] le nebulose si possono distri-

---

[1] *Où en est l'Astronomie,* p. 281.

buire, in via provvisoria, nelle classi seguenti, nelle quali non son distinte le nebulose propriamente dette dalle risolvibili.

a) Nebulose a spettri di righe brillanti, comprendenti la maggior parte delle nebulose irregolari e le nebulose planetarie, tutte probabilmente gassose.

b) Nebulose a debole spettro continuo solcato da righe oscure. Quasi tutti i soggetti di questa categoria rientrano nella classe delle nebulose spirali, che le moderne fotografie ci mostrano come il tipo *più diffuso nel cielo.*

Velocità di traslazione. — Come le stelle singole, così i gruppi stellari e le nebulose si muovono nello spazio e il loro spettro ci guida a determinare la loro velocità. Alcune velocità calcolate da Campbell sono le seguenti:

Nebulosa di Orione e altre nebulose irregolari facenti parte della Via Lattea	Velocità	km.	0	per secondo
Altre nebulose irregolari	»	»	10	»
Nebulose planetarie, discoidi o anulari	»	»	29	»
Nebulose planetarie dette stellari (diam. 5″) .	»	»	50	»
Nebulose spirali	»	»	630	»
Ammassi globulari di stelle	»	»	145	»

PRINCIPALI NEBULOSE		AR. 1920	D. 1920
Nebulosa di	Andromeda	$0^h\ 38^m$	+40° 50′
»	Toro	5 30	+22 0
»	Orione	5 31	− 5 27
»	Idra	10 21	−18 15
»	Ors. Maggiore	11 10	+55 30
»	Cani da caccia	13 26	+47 35
»	Sagittario	17 57	−23 0
»	Dragone	17 59	+66 35
»	Lira	18 51	+32 55
»	Volpe	19 56	+22 30

4. — **Via Nubila.** — Sotto il nome di Via Nubila fu additato dal suo scopritore P. Hagen un nuovo fenomeno celeste, dualistico alla Via Lattea ma più esteso e meno lucente: è una grande estensione

di masse relativamente oscure, una specie di *nubi cosmiche,* alle quali aveva pensato negli ultimi suoi anni il P. Secchi [1].

Precedentemente Herschel si era accorto dell'esistenza di nubi estese e ne aveva pubblicata una lista di 52 campi, definendole

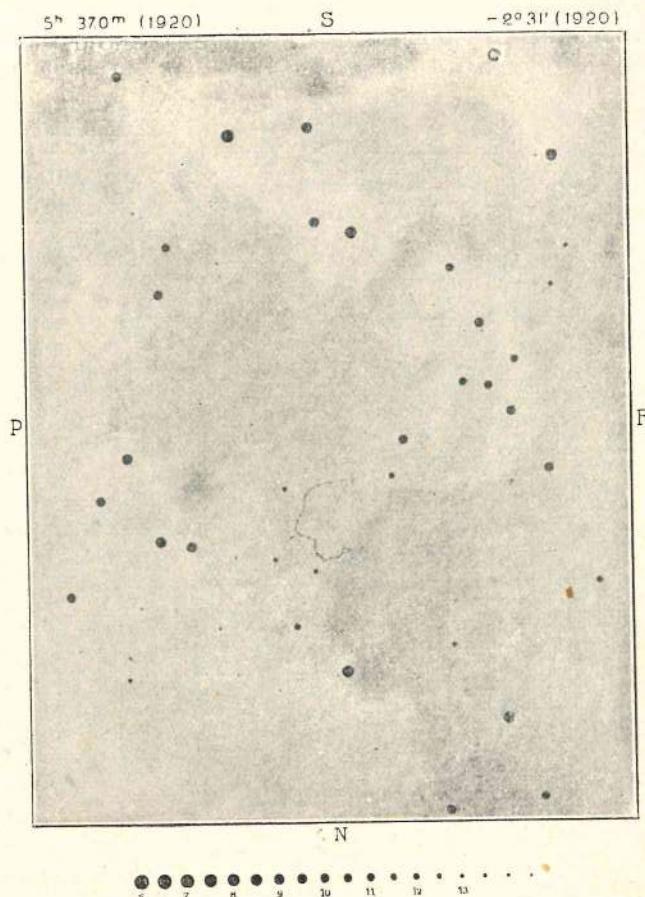



Fig. 114. — Nubi cosmiche a sud di ζ *Orionis.* (Disegno del P. Hagen).

« estensive diffused *milley nebulosities* ». Mezzo secolo dopo parecchie altre ne furono segnalate dal Barnard. Il P. Hagen vi fermò la sua attenzione nel 1893, quando lavorava all'*Atlas Stellarum Variabilium*. Fin dall'anno 1914 le nubi cosmiche formano il pro-

(1) Vedi SECCHI « *L'astronomia nel Pontificato di Pio IX* » (Roma 1877); ABETTI: *Le nebulose oscure* (*L'Universo*, anno IX, n. 4).

gramma sistematico della Specola Vaticana [1]. Eccone i risultati più salienti.

Il campo di queste Nubi è molto più largo di quello che non sospettasse l'Herschel, poichè si estende sopra tutto il cielo. Le più dense nubi si trovano nelle regioni meno ricche di stelle, specie fuori della Galassia, ma anche entro la Via Lattea si vedono qua e là dei fini veli nebulosi. Un fatto significante è che le piccole nebulose lucenti sono più numerose laddove le nubi scure sono più dense. Il loro studio è reso più difficile perchè la fotografia non è riuscita a renderle visibili; non se ne sa bene il perchè, ma sembra che esse richiedano una emulsione ancora sconosciuta.

Una nube oscura caratteristica è quella chiamata « testa di cavallo » e che è disegnata con una punteggiata sulla fig. 114. La « testa di cavallo » è l'estremo lembo di un enorme cumulo di nubi cosmiche.

Sulla citata figura sono disegnate le stelle dalla 6^a alla 14^a grandezza: il centro ha per coordinate celesti 5^h 37^m di AR e — $2°$ $31'$ di D (1920).

La tavola rappresenta ciò che l'occhio vede. La nube punteggiata non è visibile in nessun canocchiale; la sua esistenza si deduce soltanto dalla luce stellare circostante. Già da questo piccolo campo si vede che le nubi scure sono ivi più dense ove le stelle sono meno numerose.

Un altro esempio ci offre la regione scura intorno alla nebulosa lucente di Orione. Le nubi si estendono a molti gradi verso Nord e Sud-Est e rappresentano quasi un vasto paese montagnoso.

Non si dimentichi il celebre *anello di Barnard,* una densa nube oscura accerchiante il gruppo stellare di *Monoceros.*

Non si sa ancora che cosa pensare di queste nebule. Sono frammenti di materia cosmica, respinti dalla pressione della luce, nelle regioni deserte di stelle, o sono i resti della matrice dalla quale, per diminuzione dell'energia potenziale ed aumento della forza viva, si formò una stella gigante? In questo caso potremmo dire che la vita delle stelle ha la sua cuna nella Via Nubila.

5. — **Nebulose spirali.** — Correnti stellari, ammassi, nebulose, Via Lattea e Nubila sono rudimentali manifestazioni della vitalità di quel complesso organismo a cui appartiene il nostro Sole. Alcuni gli hanno dato il nome di Galassia o di Universo isola o

---

[1] Vedi *Memorie della Società Italiana,* Vol. I (1920) e giornali inglesi e tedeschi del tempo. Inoltre V. *Miscellanea astronomica,* Vol. I (1924) e II (1930) della Specola Vaticana.

isolato e la storia di questa hanno creduto di vederla in altri Universi o Galassie che vediamo dal nostro pianeta sotto l'aspetto di nebulose spirali, pensando che anche la nostra non sia che una nebulosa spirale. — Quali le cognizioni che abbiamo intorno alle nebulose spirali?

A) — Sono dotate di un moto di traslazione nello spazio. — Mettendo a confronto coppie di lastre con lo *stereocomparatore*, van Maanen trovò un piccolo moto di traslazione nella nebulosa Messier 101 rispetto alle altre stelle scelte per confronto.

Eddington ha pubblicato una lista delle velocità con cui si muovono 41 nebulose spirali studiate principalmente da Slipher fino a tutto il 1922. Di queste solo 5 si avvicinano a noi con velocità non superiore a 300 km. al secondo, mentre tutte la altre se ne allontanano con velocità superiori a 600 km. al secondo.

Fig. 115.

B) — Sono animate da un moto di rotazione attorno ad un asse. — Questo moto lo svela oltrechè la fotografia anche l'analisi spettrale e per la nebulosa sopracitata il van Maanen trovò che essa ruota in senso contrario a quello delle lancette di un orologio descrivendo in un anno un angolo di 0",022.

L'ammasso di stelle a cui appartiene il nostro Sole ruota nel piano della Via Lattea attorno ad un asse che passa per la regione centrale della Galassia, occupata dalle stelle di media grandezza appartenenti alla costellazione del Sagittario. — Il periodo di questa rotazione sembra essere di tre miliardi di anni.

C) — La rotazione nell'interno delle nebulose avviene con velocità angolari varie da punto a punto; inoltre le nebulose presentano dei nodi che si muovono entro di esse con un moto proprio.

Quattro magnifiche fotografie prese a Monte Wilson, rappresentanti la 1ª la nebulosa M. 101, la 2ª M. 33, la 3ª M. 51, la celebre nebulosa dei Cani da caccia, la 4ª M. 81, una bella nebulosa dell'Orsa Maggiore, mostrarono chiaramente i movimenti, facendo risaltare che le nodosità delle nebulose si spostano lungo le spire, allontanandosi dal centro. Le stelle delle vicinanze, le quali per certo non fanno parte delle nebulose, non hanno movimenti proprii

apprezzabili, e si può affermare che gli spostamenti delle nodosità, non sono dovuti alla sola rotazione del nucleo, nel qual caso essi non sarebbero che relativi, vi è invece movimento reale della materia lungo le spire.

D) Lo spettro delle nebulose spirali è simile a quello della nostra Galassia.

E) Come già vedemmo per gli ammassi stellari, anche le *distanze delle nebulose spirali* sono così grandi che sarebbe inutile ricercarle con metodi trigonometrici. Si tenta perciò di giungervi per *vie indirette,* tra cui una delle più sicure sembra quella delle *stelle nuove contenute nella nebulosa.*

Per intenderlo ricordiamo che, le stelle nuove appariscono o nella Via Lattea o nelle nebulose spirali. Gli astronomi suppongono che le due classi di stelle nuove siano della stessa natura, almeno nella gran media, e quindi dal confronto degli splendori, deducono le distanze delle nebulose.

Un altro metodo consiste nel determinare il tempo che una nebulosa impiega per ruotare intorno a se stessa, ciò che si fa paragonando due fotografie della nebulosa, prese a molti anni di distanza l'una dall'altra.

Per mezzo dello spettroscopio e del principio di Doppler, si determina la velocità periferica della nebulosa, e quindi moltiplicandola per il tempo che la nebulosa impiega a ruotare intorno a se stessa, se ne ricava la lunghezza della sua periferia. Risultano così conosciute le dimensioni delle nebulose, e non resta altro che confrontarle con l'angolo visuale sotto il quale esse ci appariscono, per ricavarne immediatamente la distanza.

Le parallassi delle quattro nebulose sopracitate sarebbero secondo van Maanen fra i tre ed i cinque millesimi di secondo.

Alcuni hanno trovato un'analogia fra le nebulose spirali e le volute che disegna il vapore acqueo che si condensa sui vetri delle finestre delle nostre abitazioni nelle giornate invernali.

A volta a volta una parte del velo acquoso si agglomera in una grossa goccia che si stacca dal rimanente: questo sarebbe il modello della formazione delle stelle.

L'argomento principale dell'ipotesi a favore degli Universi isolati fu somministrato nel 1924 dalle fotografie fatte col grande riflettore di Monte Wilson, sulle quali la nebulosa spirale di Andromeda appare sciolta, fino agli estremi suoi limiti, in miriadi di stelline. Siccome parecchie variabili del tipo di δ Cefeo furono trovate in questa nebulosa, si poteva calcolare la distanza col metodo di Shapley; e fu trovata quasi eguale a un milione di anni di luce (950.000). Non molto diversa è quella della M 33.

Tali distanze sembrano proprio mettere le nebulose spirali fuori del nostro sistema stellare, tanto più che anche i loro diametri lineari (30.000-50.000 anni di luce) sono paragonabili alla Via Lattea. Il numero delle nebulose spirali finora conosciute non supera il 500.

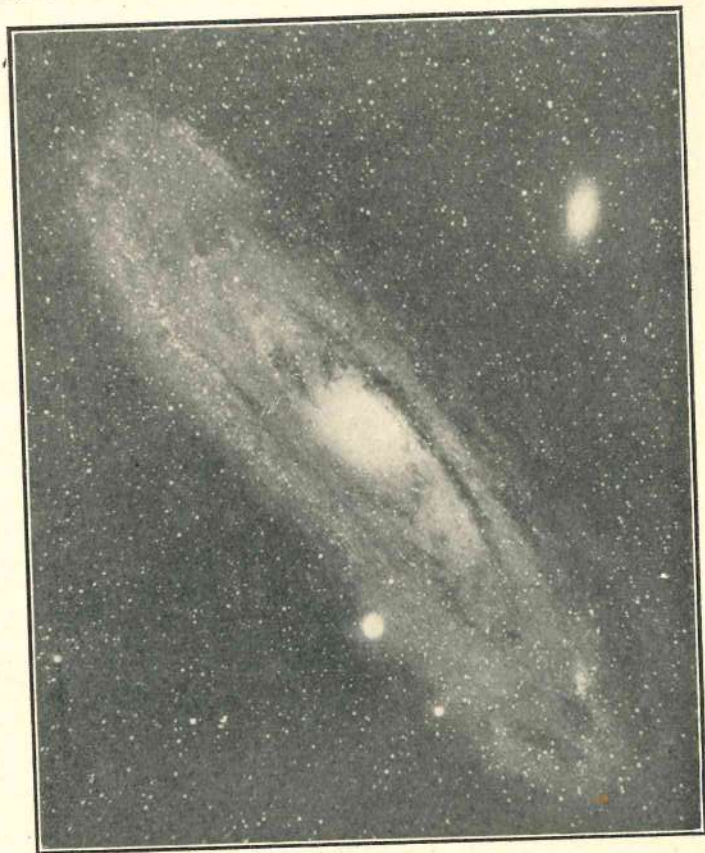



Fig. 116. — La nebulosa d'Andromeda.
(Da una fotografia della Specola Yerkes di Chicago).

Il Prof. Abetti sintetizza così l'evoluzione di uno di questi Universi isolati [1]:

Nelle diverse nebulose a spirale viste di profilo o di faccia si vede scritta tutta la storia del loro sviluppo, dalla massa regolare a forma ellissoidica con la materia ugualmente diffusa, a quella in cui

(1) « Ingegneria », Gennaio 1926, Milano.

si scorge un principio di espulsione della materia, dovuto probabilmente ad effetti di marea provocati da corpi vicini. Tali effetti si rendono palesi con un rigonfiamento ed una fascia oscura di materia già più fredda lungo l'equatore della nebulosa. La materia espulsa, seguendo la legge della teoria dinamica, viene proiettata dal nucleo centrale per rami che si staccano da punti antipodali, come si vede e si misura nelle fotografie di nebulose viste con spirale di faccia. Quando la forza di gravità fra le particelle del gas vince la sua forza di espansione, allora il getto di gas si rompe in tanti globuli separati, dei quali si può calcolare la grandezza, la massa e loro mutua distanza. E tale è appunto l'apparenza delle nebulose più evolute che ci fanno assistere veramente alla nascita delle stelle formate ancora di gas di piccolissima densità, cioè delle stelle giganti alla cui successiva evoluzione si è dianzi accennato.

Non si deve pensare però che tutti gli astronomi siano concordi in queste idee: si tratta di studi incipienti, di orizzonti che si dischiudono proprio ora all'indagine della nostra mente. Come potremmo conquistarli in un attimo? È bello il vedere lo sforzo collettivo di tutti gli Istituti scientifici verso le nuove conquiste.

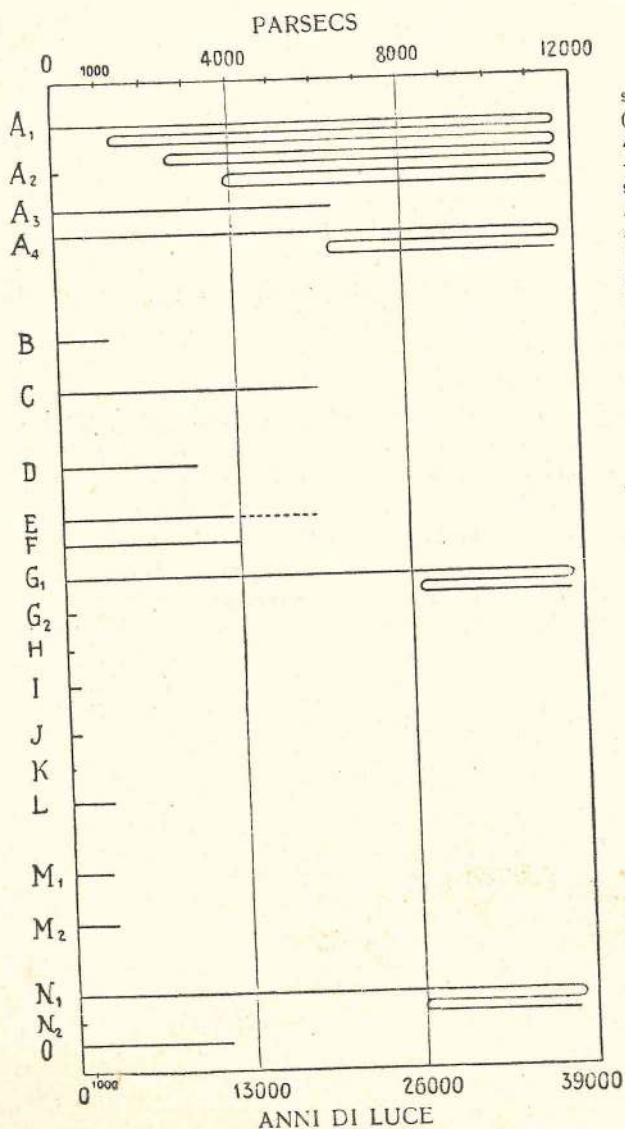
In tutti gli Osservatori, riferisce Painlevé, su vasti piani, su indicazioni che sono delle direttive, ma delle direttive molto larghe, si lavora *à bloc* in tutti i sensi: si studiano tutte le costellazioni, tutte le formazioni siderali d'aspetto strano, e tra queste formazioni, le nebulose spirali i cui rami si svolgono partendo dal centro, le nebulose gassose, ammassi globulari di materia cosmica. L'astronomo indaga le leggi della loro ripartizione, della loro distanza.

La scienza principe delle naturali, approfittando dei continui nuovi aiuti messi a sua disposizione dalle altre scienze, e da persone illuminate, protende le sue ali dorate verso lontane inesplorate regioni, entro gli splendori delle quali trova il centro

> ove s'appunta ogni ubi ed ogni quando.
>
> (*Par.* XXIX).

DISEGNO

che schematizza diverse distanze nel mondo siderale, secondo Harlow Shapley.

(Contribution from the Mount Wilson Solar Observator, n. 156).

A_1 Distanza dell'ammasso globulare più lontano (180 mila anni di luce). — A_2 Diametro di Messier 3. — A_3 Distanza dell'ammasso globulare più vicino. — A_4 Distanza media degli ammassi globulari. — B. Distanza percorsa in un milione di anni dal corpo celeste più rapido conosciuto (nebulosa spirale N. G. C. 4594: 1180 chilom. al secondo). — C. Distanza maximum delle δ Cefeidi. — D. Distanza maximum delle variabili di eclissi. — E. Nubi galattiche presso Messier 11. — F. Messier 37. — G_1 Distanza della piccola Nube di Magellano. — G_2 Diametro della piccola Nube di Magellano. — H. Distanza media di 3 *Novae* galattiche. — I. Distanza media di 2 nebulose spirali. — J. Distanza della nebulosa di Orione. — K. Distanza delle Jadi. — L. Distanza della stella più lontana visibile ad occhio nudo. — M_1 Distanza maximum delle stelle del tipo B. — M_2 Diametro dell'ammasso di stelle del tipo B. — N_1 Distanza del Sole dal centro del sistema degli ammassi globulari. — N_2 Distanza del Sole dal centro dell'ammasso di stelle del tipo B. — O. Larghezza del segmento equatoriale.

CAPITOLO X.

Comete e Meteore cosmiche

1. *Comete.* — 2. *Stelle filanti e meteoriti.* — 3. *Abitabilità degli astri.* — 4. *Conclusione.*

1. — Comete. — Come abbiamo veduto, tutti i pianeti si muovono in un piano quasi comune, in una direzione unica, in orbite prossimamente circolari. Conservando il Sole ad un fuoco, supponete ora di schiacciare l'orbita di un pianetino, in modo da convertirla in una ellisse allungatissima, con l'asse maggiore notevolmente più grande del minore, od anche di aprire e di lasciar indefinite le due branche di quest'orbita nelle parti lontane dal Sole: inclinate poi il piano della nuova curva come meglio vi aggrada e fate che il pianetino per essa corra in senso diretto od anche in senso retrogrado, e voi avrete convertito il pianetino in una cometa. Riducendole ai loro caratteri essenziali, direte adunque che le comete sono astri, che vengono a passare intorno al Sole con movimenti diretti o retrogradi, su orbite ellittiche allungatissime, o paraboliche od iperboliche, variamente inclinate sul piano dell'eclittica. Il punto dell'orbita cometaria più vicino al Sole si chiama *perielio,* il più lontano *afelio.* Se la cometa si muove in un'orbita chiusa, ritorna regolarmente al perielio ad epoche determinate e prende il nome di *periodica:* se si muove in un'orbita aperta, allorchè si allontana dal Sole, non permette più di prevederne e calcolarne il ritorno, e allora si chiama *non periodica.* Le *periodiche* sono a *breve* o a *lungo* periodo, secondo la durata di una loro rivoluzione; ed oggi le *non periodiche* si pensa da molti che non siano altro che *periodiche* a periodo *lunghissimo.* — Le comete, al momento della loro scoperta s'indicano, in via provvisoria per l'anno corrente, con le lettere successive dell'alfabeto: finito l'anno e fatti i calcoli delle orbite, la lettera dell'alfabeto si toglie, e si introducono, a distinzione, i numeri con cifre romane secondo l'ordine dei passaggi al perielio. Se v'ha qualche cometa di splendore straordinario, la si indica come *la grande cometa* di un

dato anno, e talvolta a tutte queste si sostituisce, nell'uso, l'indicazione data dal nome dello scopritore. Ad esempio: la cometa, scoperta da Brooks il 22 gennaio 1887, restò indicata come *cometa b* del 1887 fino a calcoli finiti; dopo, passò nei cataloghi come *cometa* 1887 II. Invece la *cometa c* 1887, scoperta il giorno dopo, 23 gennaio, dal Barnard, siccome a calcoli finiti dimostrò essere passata al perielio nel 1886, restò poi definitivamente a catalogo, con la designazione *cometa* 1886 VIII.

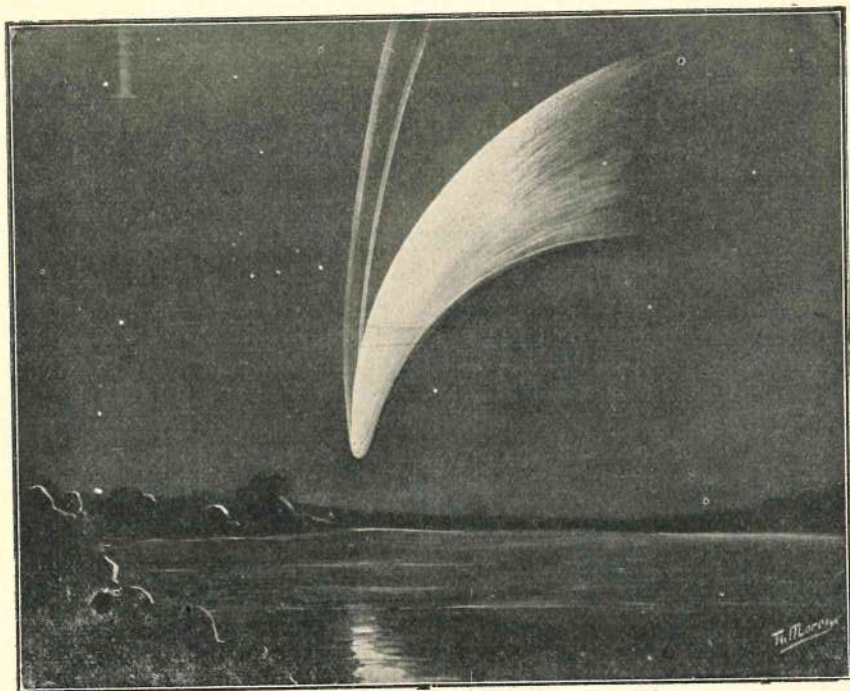



Fig. 117. — Cometa di Donati del 1858.

Salgono a più di 800 le comete finora osservate, ed i periodi di rivoluzione si conoscono esattamente per 22 di esse, approssimativamente, per circa 125. Di *breve* periodo sono la Winnecke e la Brorsen (anni 5 $^1/_2$), la Biela (anni 6 $^2/_3$), la Faye (anni 7), l'Encke (anni 3 $^1/_3$): di periodo *lungo*, la Olbers (anni 72,6): di periodo *lunghissimo*, la grande cometa del 1769, alla cui rivoluzione si sono assegnati 2000 anni, e quella nel 1680, per la quale si sono domandati 8800 anni, un periodo forse eguale alla vita della intera umanità! La prima cometa riconosciuta come periodica fu quella di Halley, che ha il periodo di 76 anni. Vista da Toscanelli nel 1456, da Apiano

PRINCIPALI COMETE PERIODICHE.

Num.	NOME	Distanza perielia	Distanza afelia	Durata della rivoluzione in anni	PROSSIMO PASSAGGIO al perielio
1	Encke . . .	0,338	4,093	3,297	1928 Marzo
2	Tempel (2) . .	1,323	5,866	5,173	1930 Ottobre
3	Brorsen . . .	0,588	5,610	5,456	1928 Maggio
4	Swift-Tempel	1,153	5,214	5,681	1931 Giugno
5	Winnecke . .	0,972	5,537	5,891	1933 Marzo
6	De Vico . . .	1,670	5,225	6,400	1929 Giugno
7	Perrine . . .	1,173	5,760	6,454	1928 Febbraio
8	Giacobini . .	0,976	5,994	6,510	1933 Aprile
9	Tempel (1) . .	2,091	4,902	6,538	1931 Giugno
10	D'Arrest . . .	1,270	5,725	6,542	1930 Aprile
11	Finlay	1,007	6,075	6,664	1933 Febbraio
12	Biela	0,879	6,223	6,692	(Disintegrata)
13	Wolf	1,538	5,594	6,804	1932 Luglio
14	Holmes . . .	2,122	5,097	6,857	1933 Agosto
15	Borrelly . . .	1,403	5,867	6,930	1932 Settembre
16	Brooks . . .	1,963	5,429	7,105	1932 Aprile
17	Faye	1,666	5,966	7,438	1932 Dicembre
18	Tuttle	1,028	9,542	12,15	1937 Febbraio
19	Westphal . .	1,262	29,77	61,72	1975
20	Pons-Brooks	0,776	33,698	71,56	1955
21	Olbers	1,199	33,623	72,65	1960
22	Halley	0,587	35,303	76,02	1986

nel 1531, poi nel 1607, 1682, 1759, 1835, riapparve nel 1910 passando al perielio il 20 aprile a 2^h 39^m, secondo l'orbita calcolata previamente dagli astronomi inglesi Cowel e Crommelin con esattezza perfetta; si crede che le comete apparse 13 anni av. Cristo, e poi dopo la venuta, negli anni 66, 141, 218, 295, 373, 451 e così di seguito regolarmente, come attestano le cronache, fino al 1378, sieno altrettante apparizioni di quest'unica Halley.

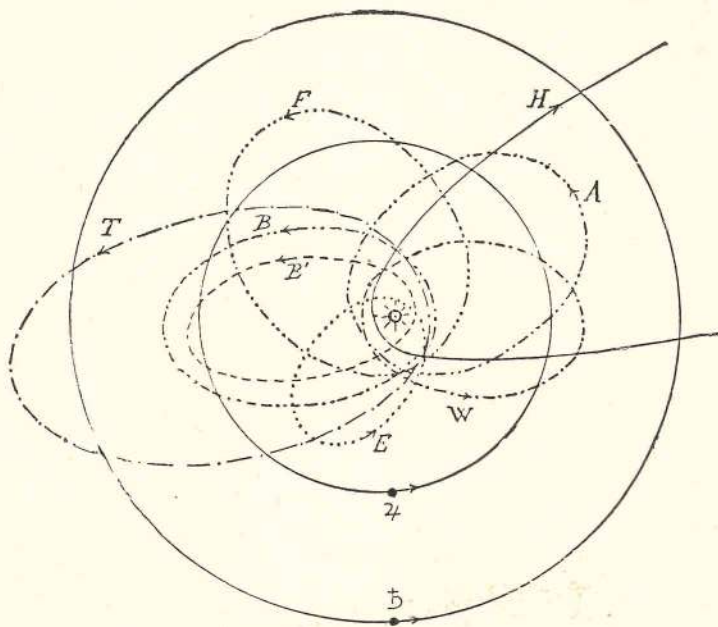



Fig. 118. — Comete periodiche di Arrest (A), Biela (B), Brorsen (B'), Encke (E), Faye (F), Halley (H), Tuttle (T), Winnecke (W).

La massa delle comete è una nullità nei cieli, e appunto per questo, in principio abbiamo suggerito di trasformare in cometa un pianetino. Passando vicino a Mercurio, a Venere, alla Terra e sopratutto a Giove, hanno subíto fortissime perturbazioni: esse però sui pianeti nulla di forza hanno potuto spiegare. Segno dunque che la loro massa era trascurabile affatto. La Donati, per es., che nell'ottobre 1858 si distendeva larghissima sul cielo, non aveva di massa che 1/20000 della massa terrestre!

Supponete ora che la nostra Terra si avesse a muovere lungo l'orbita di una cometa che avesse una distanza perielica di 900000 km. dal Sole, e che all'afelio si allontanasse più di Nettuno. Quali

effetti ne verrebbe a sentire? Senz'altro i più gravi; e mentre all'afelio, nella fredda profondità dello spazio, noi saremmo preparati a veder solidificare i nostri mari e precipitare dall'atmosfera ogni traccia di vapor acqueo, al perielio ci aspetteremmo invece vaporizzate rapidamente le acque, sollevata e travolta in circolazione violenta l'atmosfera, e la crosta squarciata qua e là per dar uscita alle sostanze interne, agitate da una marea straordinaria e volatilizzate. Pensate che al perielio saremmo riscaldati come se nei nostri giorni d'estate avessimo sul capo non uno, ma 25000 Soli! Ai cambiamenti di stato nei corpi per opera del calore terrebbero dietro, come legittimo corteo, i cambiamenti di luce e di magnetismo più violenti. Orbene, dite: dopo un passaggio al perielio, la nostra Terra l'uomo la riconoscerebbe ancora? Tanti cataclismi l'avrebbero di certo radicalmente mutata! — Potete di qui farvi un'idea dei cambiamenti rapidi e colossali che le comete presentano, e comprendere come certe apparenze, che si danno come essenziali, non sieno poi altro che fenomeni passeggeri e affatto accidentali. Allorchè una cometa si presenta sul fondo del cielo, di solito la si discerne come una massa globulare, circondata da una lieve nebulosità: man mano che si avvicina al Sole, cresce nel suo splendore e cambia nella sua forma: dalla parte anteriore manda dei getti luminosi, che facilmente si ripiegano sui lati e si stratificano anche ripetutamente attorno al centro, e dalla parte posteriore dispiega uno strascico, che raggiunge talvolta enormi dimensioni. La parte centrale più densa, talvolta luminosa come una stellina, si chiama il *nucleo:* la nebulosità che avvolge il nucleo si dice *chioma,* e *chioma* e *nucleo* formano il *capo:* i getti anteriori poi da alcuni si dicono *barba,* e lo strascico posteriore forma la *coda.* Si sono viste comete senza coda, senza barba, senza nucleo: senza chioma, mai. Il nucleo alle volte è unico, alle volte molteplice, alle volte (come abbiamo detto) manca: la chioma è sempre distribuita attorno al nucleo irregolarmente; la còda, diretta sempre dalla parte opposta al Sole, di solito si allarga a ventaglio, e riuscendo meno chiara sulla linea mediana che sui lati, facilmente si mostra divisa. La grande cometa del 1744 presentò sei code, ciascuna larga 4° circa e lunga da 36° a 45°. — Il massimo di splendore le comete lo raggiungono brevissimo tempo dopo il perielio. Se a noi riescono visibili soltanto poco prima o poco dopo di questo periodo, è facile intenderne il perchè; in questo periodo difatti rivestono la luce che le fa distinguere sul cielo. Coi potenti canocchiali si spera però di ottenere di meglio: si spera di poter seguire qualche cometa di breve periodo per tutto il suo corso.

La maggior parte delle comete sfugge alla osservazione comune ed è retaggio dei soli telescopi: in compenso le poche, che si

rendono visibili ad occhio nudo, raggiungono delle dimensioni che sorpassano ogni nostra immaginativa. La Donati, ad es., aveva un nucleo di 9000 km. di diametro e una coda lunga 88000000 km. il 5 ottobre, 160000000 il 10, e poi soli 48000000 il 15. Di 320000000 chilometri fu la coda della grande cometa del 1843. — La piccolezza

Fig. 119. — La famiglia delle comete di Giove.

della massa paragonata alla immensità del volume fa pensare facilmente per la materia delle comete ad uno stato di disgregazione particolare: alcune particelle solide vaganti in un gas estremamente rarefatto devono costituire il nucleo e chioma della cometa. Infatti essi sono traversati non soltanto dalle intense radiazioni del nostro Sole; ma anche dal tenue raggio che proviene dalle stelle più

lontane, ed il padre Secchi nel 1856 potè osservare una stella di 8ª grandezza attraverso il nucleo della Biela. Che son dunque le comete? Nebbie che scorrazzano per i cieli. Sono i *re travicelli* degli spazi, che fanno del chiasso e non portano scettro; simili alle meduse dei mari, ai palloni dell'atmosfera od anche a certi zeri della specie umana, ai piedi dei quali Dante scriverebbe per epigrafe: *Ecco una vanità che par persona!*

C'è però una cosa reale nelle comete, che desta la più alta ammirazione: la velocità con la quale passano al perielio. La I del 1881 correva 3800000 km. al giorno: quella di Halley più di 50 km. al secondo. Non è però da farne le meraviglie. Richiamate le leggi di Kepler e di Newton e pensate alla distanza, dalla quale le comete *cadono* verso il Sole, e quindi alla velocità che acquistano: pensate inoltre alla reazione centrifuga, che devono sviluppare per poter fuggire all'attrazione centrale, e troverete poi anche tra queste forze e la velocità straordinaria la corrispondenza e l'equilibrio più perfetto. La grande cometa II del 1882 attraversò il 17 settembre l'atmosfera solare, quella del 1843 ne toccò la cromosfera acquistandovi la luce viva: se corrono tanto, ne han pure ragione: il più lieve rallentamento le farebbe precipitare e consumare sul Sole.

Fig. 120.
Cometa fotografata da Barnard il 5 maggio 1894 [1].

Non tutte però le comete si avvicinano di tanto all'astro centrale: v'ha tutta la ragione di credere che molte ne esistano, che hanno

[1] Durante l'esposizione della lastra, l'apparecchio ha seguíto nel suo movimento la cometa, che si sposta rapidamente rispetto alle stelle; queste hanno dunque lasciato come traccia delle piccole striscie sulla negativa.

il perielio lontano più di Giove, di Saturno, di Urano e che noi quindi non vediamo, soltanto perchè si mantengono troppo lontane. Quelle che conosciamo noi, hanno quasi tutte il perielio tra la Terra e il Sole: poche l'hanno al di là di Marte. Istituendo un calcolo di probabilità, si ha dunque tutto in favore per concludere che delle comete noi non ne conosciamo che rarissimi esemplari: il grosso dell'esercito, formato da milioni di individui, formicola negli spazi, dentro e fuori dei regni del Sole, ignoto a noi. Secondo il Kleiber sono circa 6000 le comete che in ogni istante trascorrono entro i confini del nostro sistema. A chi lo interrogava sul numero delle comete, Kepler rispondeva: *sono tante quanti i pesci del mare.*

L'astronomo Crommelin di Greenwich ha pubblicato un elenco di tutte le apparizioni fra 1894 e 1925 (Aprile). È da notare, che il loro numero di circa 150 contiene parecchi soggetti due e più volte, secondo i loro ripetuti ritorni. Il periodo più corto appartiene alla cometa di Encke, apparsa nel 1924; i più lunghi a queste:

1898	VI	73180	anni
1898	X	158700	»
1902	III	1403000	»
1911	II	105240	»

Lo spettroscopio applicato alle comete vi ha riconosciuto due sorta di spettri, uno debole e continuo, l'altro discontinuo e formato di tre righe brillanti (gialla, verde, azzurra). Il primo spettro è luce del Sole riflessa, come dimostrano anche le righe di Fraunhofer riconosciute nelle comete assai vive: il secondo è luce propria della cometa, dovuta ad idrocarburi gassosi incandescenti. Per questo motivo si è a lungo creduto che le comete costituissero un gruppo di corpi a sè, il gruppo dei *corpi del carbonio*. La cometa I del 1881 però e la grande cometa del 1882 obbligarono a modificare alquanto tale concetto. Al perielio difatti la prima dette distinte le righe lucide del sodio, la seconda quelle del sodio ed alcune anche del ferro. Non sono adunque, le comete, sì semplici, come si pensava prima dell'80.

Sembra che non abbiano tutte la composizione medesima e quando le nostre cognizioni saranno più avanzate, potremo classificare le comete in diverse categorie secondo il loro tipo spettrale, come si fa per le stelle. Vi sono comete essenzialmente gassose e turchine come la cometa Morehouse (1908 *c*); vi sono comete gialle nelle quali dominano le particelle solide, come la cometa di Johannesburg (1910 *a*). I gas contenuti nelle comete sono dei composti di carbonio, ma non si può dire che siano necessariamente dei composti idrocarbonati, come credevasi; ed è anche probabile

che siano piuttosto dei composti ossigenati. Il cianogeno esiste pure nella testa delle comete, e l'azoto venne riconosciuto nella testa e nella coda.

A nessuno intanto sfuggirà l'importanza di questo fatto, che cospira con mille altri nel dimostrare identica la costituzione degli astri apparentemente più disparati: è un nuovo argomento in favore della dottrina della *similarità dell'universo.*

Più indecisa resta la questione della coda, che qualcuno tra gli antichi volle considerare come pura illusione, non come realtà. In seguito, ammessa la coda come reale, se ne diedero diverse interpetrazioni: alcuni la giudicarono una rifrazione della luce solare nell'atmosfera cometaria (Gorgonne), altri una fosforescenza dell'etere cosmico (Flammarion), i più invece vera materia diffusa dalla meteora. Quelli i quali vollero la coda pura realtà luminosa, furono indotti a ritenerla tale dal considerare che, trovandosi essa sempre opposta al Sole, per mantenersi tale nel perielio, dovrebbe alla sua estremità essere animata di una velocità favolosa.

Oggi si considera la coda come materiale, dovendo col Righi riconoscere nel Sole, non solo una forza che disgrega, ma anche una energia luminosa che respinge le particelle disgregate.

Il Bredichin applicando la teoria della pressione luminosa, stabilisce, per l'interpetrazione delle code cometarie, le regole seguenti: *a)* Se la forza ripulsiva del Sole è 14 volte più grande della forza di attrazione, le code riescono dirette e lunghe. — *b)* Se la forza ripulsiva è di poco superiore alla forza di attrazione, le code riescono corte ed allargate a ventaglio. — *c)* Se la forza ripulsiva discende da tre ad un decimo della forza di attrazione, le code non sono più che getti definiti, brevi, fortemente incurvati. — I tre tipi non sono sempre nettamente distinti; allorchè si confondono e si hanno code complesse, si deve pensare che la materia costituente le code sia formata da sostanze differenti.

È possibile, dal peso molecolare delle sostanze respinte dal Sole, e dalle velocità osservate, indovinare la natura degli elementi che compongono la coda delle comete. Nel primo tipo di Bredichin predomineranno l'*idrogeno* e l'*elio.* Nel secondo il *carbonio,* l'*acetilene* ed il *sodio.* Nel terzo il *ferro,* il *rame,* il *piombo* ed altri metalli pesanti. Tali corpi furono trovati mediante lo spettroscopio nei nuclei cometari.

Donde vengono le comete? Gli antichi le credettero condensazioni di vapori nelle alte regioni dell'atmosfera, e quindi corpi sublunari: determinate da Newton, da Halley, da Eulero alcune prime orbite come paraboliche o iperboliche, si considerarono corpi estranei addirittura al nostro sistema, e si accettò comunemente la espressione

di Laplace, che le giudicava astri vaganti dall'una all'altra stella: adesso invece si cerca di far penetrare l'idea, che le considera tutte come corpi del sistema solare, simili ai pianeti, dai quali differirebbero solo nella forma dell'orbita, e conseguentemente nel periodo e nelle accidentalità dell'aspetto: anzi si avanza anche il pensiero di

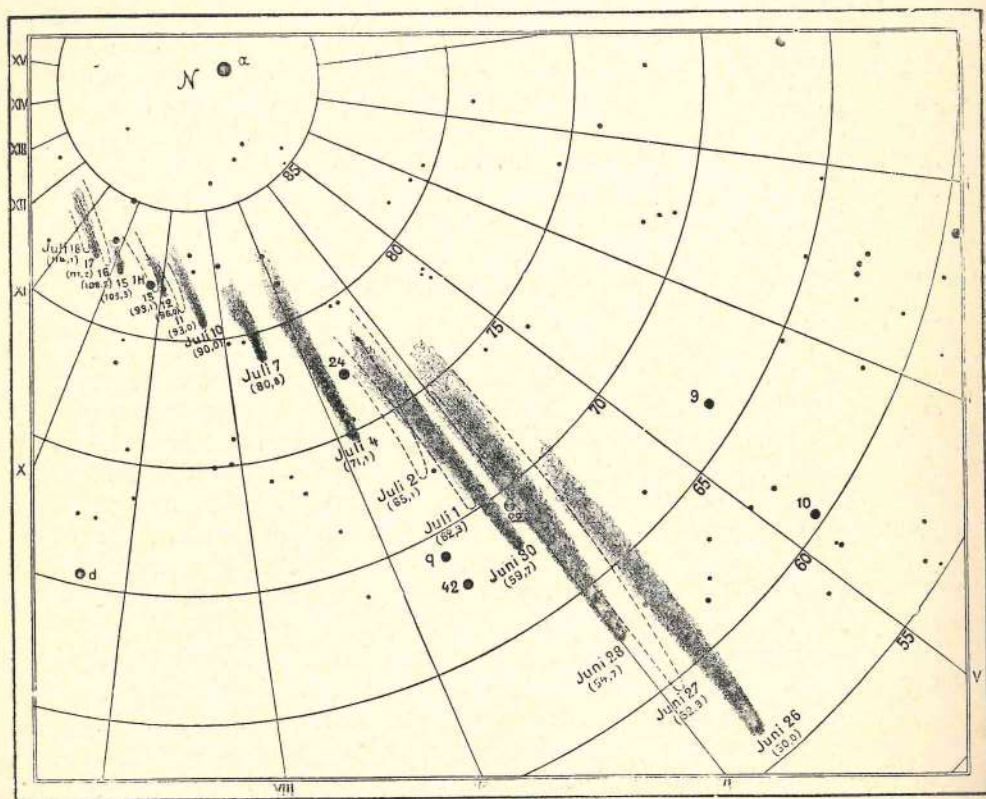



Fig. 121. — Corso apparente e lunghezze della coda della grande cometa del 1881

ritenere che alcune comete altro non siano infine che pianetini perturbati. Ricorderete che nella plaga dei pianetini abbiamo incontrato delle zone deserte, e che deserte erano appunto quelle nelle quali i corpi che vi fossero posti a circolare, avessero avuto un periodo in rapporto semplice con quello di Giove, come 1: 2; 2: 3 ecc. Perchè questo? Nulla ci vieta di credere che le attrazioni frequenti e forti del pianeta colossale abbiano a poco a poco allungata e

convertita in cometaria l'orbita, che prima era quasi circolare e planetaria, e che quindi Giove di alcuni asteroidi abbia fatto altrettante comete.

L'ipotesi è del Kirkwood; il quale a sostegno ricorda diversi fatti, tra i quali la cometa II 1867, che ha un periodo lungo metà di quello di Giove e una distanza media di 32,77 (distanza terrestre =10), corrispondente appunto ad una zona deserta; e poi le comete d'Arrest e di Biela, che pure hanno un periodo rivolutivo in rapporto semplice con quello di Giove e la distanza media di 35,10, pure corrispondente ad altra zona deserta. Sull'azione dei pianeti nell'imprigionare le comete e convertirle in periodiche, hanno dato ottimi studi Tisserand e Callandreau, e per cancellare dalle loro orbite le iperbole e collegarle tutte intimamente al Sole, come i pianeti, ha lavorato con buon esito nel 1893 il Fabry. Non si può negare che questa teoria, che fa di tutte le comete altrettanti elementi del nostro sistema, si presenti con belle attrattive e precluda la via anche a gravissime difficoltà.

Fermiamoci un momento a conoscere meglio orbite e velocità. — Voi conoscete l'ellisse e ricordate che se ne chiama *eccentricità* la distanza di uno dei suoi fuochi dal centro, espressa in parti del semiasse maggiore. Nel *cerchio* l'eccentricità è *zero:* nell'*ellisse* propriamente detta varia da *zero* ad *uno:* se diventa *uno,* la curva prende il nome di *parabola;* se più di uno, *iperbole.* Nella fig. 17 immaginate che l'asse *al* si allunghi indefinitamente: le due branche *ad, ad'* della curva, riuscendo più divergenti, non si chiuderanno più, e daranno origine alla parabola, che poi una divergenza ancor maggiore convertirebbe in iperbole. — Or bene, a ciascuna distanza dal Sole corrisponde per ciascuna di queste curve una data velocità, sicchè, conosciuta la velocità di un corpo a una data distanza, subito se ne può inferire la forma della traiettoria. La Terra p. es., percorre circa 30 km. al secondo e descrive quindi una ellisse assai prossima al circolo: se la sua velocità aumentasse nel rapporto da 1 a 1,414 e diventasse quindi di km. 42, la sua orbita diventerebbe una parabola. Ritenete adunque che è *parabolica* la velocità di un corpo, che, ad una distanza dal Sole eguale a quella della Terra, corre 42 km. per secondo. Ora, dell'orbita delle comete noi non vediamo che una minima parte, e questa piccola parte, anche per le comete certamente ellittiche, si avvicina assai ed anzi si confonde con un tratto di curva di parabola. Lasciando adunque impregiudicata la questione se o meno tutte le comete abbiano orbite chiuse, dal momento che la loro velocità tocca o si avvicina assai ai 43 km. per secondo, noi la potremo considerare come parabolica, e quindi le due espressioni *velocità parabolica* e *velocità cometaria* le useremo come equivalenti. —

Queste righe, forse un po' aride, non sono inutili: le richiameremo a proposito delle stelle cadenti.

Dal lato matematico, il problema dell'origine delle comete fu studiato da molti astronomi, tra i quali *Laplace* e *Schiaparelli,* venendo a conclusioni contrarie. Il *Laplace* cioè sosteneva che se anche le comete provenissero dalle stelle, le loro orbite continuerebbero ad apparirci pressochè paraboliche; lo *Schiaparelli* dichiarava invece che in tal caso esse sarebbero state fortemente iperboliche. La controversia, come mostrò il prof. Brunellini (¹), proveniva da un semplice malinteso; e cioè ognuno dei due scienziati aveva ragione dal suo punto di vista, nonostante che il Laplace - come lo Schiaparelli giustamente riteneva - avesse introdotto nel calcolo delle semplificazioni non permesse.

Come conclusione ne risulta ormai che dal lato puramente matematico, le comete, *o debbono essere originarie del sistema solare,* oppure possono provenire *soltanto da quelle stelle appartenenti a quella corrente stellare a cui appartiene il nostro Sole;* cioè a quelle stelle che hanno nello spazio lo stesso movimento del Sole. Quest'ultima ipotesi però è fisicamente poco probabile. Altre prove addotte da Strömgren concludono con l'origine planetaria delle comete; ed ormai giustamente la maggioranza degli astronomi le ritiene *native del sistema solare.*

È noto che le comete sono state considerate per lunghi secoli come messaggi crudeli di dolori e di morte, e rappresentate quindi con disegni fantastici, che le convertivano in fiamme, in spade ecc.

E via pel taciturno etere in fuga
Ire e redir Comete, impazïenti
Visitatrici d'altri ignoti soli,
Pari a Sibille, che, disciolto il crine,
Profetino terrori.

(ALEARDI, *Lett. a Maria*).

Dopo quanto abbiamo esposto non è neppur conveniente il soffermarci a dire che tali paure erano vane affatto e frutto soltanto di mancanza di cognizioni. Si diceva che di ogni cometa era corteo la sventura: ma quando mai senza sventure e senza lacrime passò un giorno la Terra? E non è egli vero che finchè avrà vita il mondo, anche il Sole *risplenderà sopra sciagure umane?*

... Sull'ampia Terra una conosci
Valle felice, ove giammai non sia
L'eco sonata d'un lamento umano?

(ALEARDI, *Monte Circello*).

(¹) Cfr. *Scientia,* 1917.

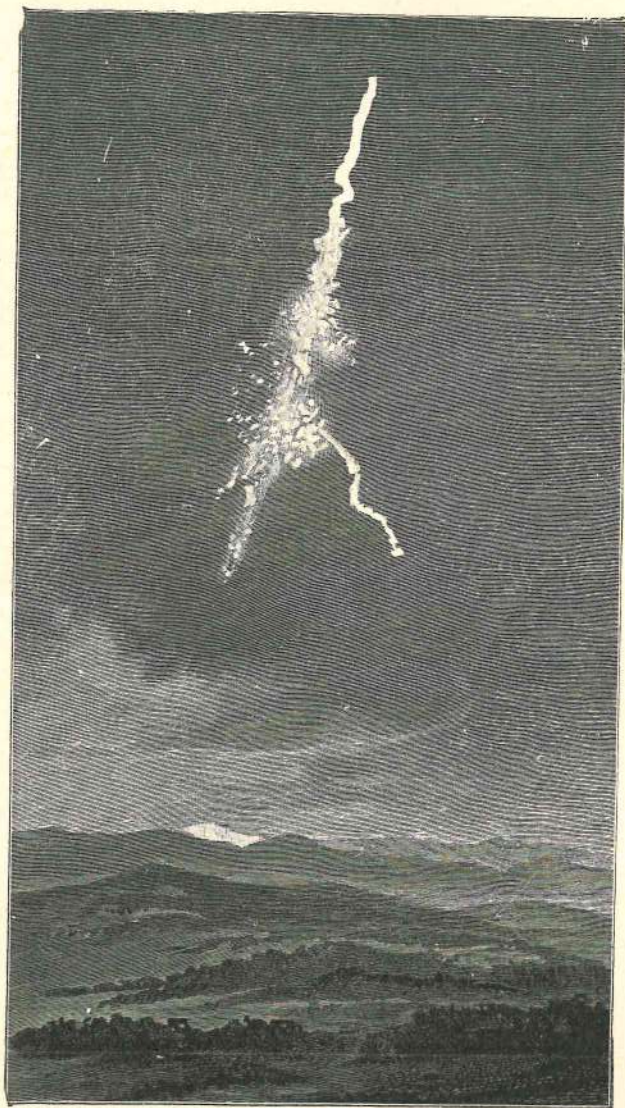



Fig. 122. — Meteora veduta in California il 27 luglio 1894.

Caduta questa forma di spavento, che si direbbe volgare, un'altra se ne sostituì subito dopo con un certo apparato scientifico, e si parlò quindi di un possibile urto di una cometa, tale che avrebbe spezzato e disperso il nostro globo. Whiston aveva già da un urto simile (della cometa di Halley) invocata la spiegazione del diluvio: altri, da altri urti contro i massimi pianeti od anche contro il Sole, aveva domandata la ragione dei pianetini, giudicandoli strappati violentemente da corpi maggiori; e tutti ricordiamo poi come anche nel trascorso secolo si sia rinnovata la predizione di fatti identici e si sieno viste più volte le plebi spaventate in attesa del finimondo. Per tutta risposta non c'è da dire se non questo, che anche qui si è fatto del romanzo, non della scienza. L'incontro di una cometa non è impossibile, ma è assai improbabile: dato poi che avvenisse, come difatti si vuole che sia avvenuto nel 1861, la Terra non ne riceverebbe danno notevole: attraverserebbe la cometa *come una palla di fucile attraversa uno sciame di moscerini* (Secchi). La massa, che dalla cometa cadrebbe sulla Terra, sarebbe sempre un nulla o al più ne avrebbe danno qualche stretta regione.

Resterebbe a dirsi anche del disgregamento e della scomparsa della cometa: è però argomento che si collega di troppo col numero seguente e a questo lo dobbiamo rimandare.

2. — **Stelle filanti e meteoriti.** — Contemplando il cielo stellato, più volte le vostre pupille saranno state colpite da meteore luminose correnti, che certamente vi avranno ricordato i versi del Poeta:

> Quale per li seren tranquilli e puri
> Discorre ad ora ad or súbito foco,
> Movendo gli occhi che stavan sicuri,
> E pare stella che tramuti loco;
> Se non che dalla parte, onde s'accende
> Nulla sen perde, ed esso dura poco.
>
> (*Par.* XV).

E quei di Virgilio:

> ..... *caelo saepe refixa*
> *Trascurrunt crinemque volantia sidera tollunt.*

Il fenomeno non è raro: si ripete ogni notte, talvolta anzi con tale grandezza da destare ammirazione. Le osservazioni esatte su queste meteore hanno insegnato anzitutto a dividerle in diversi gruppi, e si sono chiamate *a*) *stelle cadenti* o *stelle filanti* quelle, che trascorrono per il cielo tranquillamente, senza lasciare traccia dietro di sè

e spegnendosi senza rumore; — *b*) *bolidi* o *meteoriti* quelle, che lasciano dietro di sè una striscia luminosa, e sovente si spengono risolvendosi in meteore minori e facendo anche sentire una detonazione. — Le stelle cadenti di solito sono piccole, e si classificano per grandezze apparenti come stelle, e variano di colore e di velocità. I bolidi invece possono assumere dimensioni notevoli e comparire talvolta come veri globi di fuoco, con diametri apparenti da eguagliare la Luna: saettano luce più viva, in molti casi cangiante: presentano facilmente dei rallentamenti e delle deviazioni nella loro corsa, e scoppiando infine, possono dar luogo a cadute di corpi sulla Terra, detti *pietre meteoriche, aeroliti, meteoriti* ecc. La caduta di queste pietre meteoriche fu a lungo revocata in dubbio, e basta a prova il nomignolo di *Abate pioggietta* applicato al Soldani di Pisa, perchè nel 1794 con un suo scritto aveva sostenuta la realtà di una *pioggetta di sassi:* i fatti in seguito accertati non permisero però altre discussioni, ed ora è già lungo il catalogo dei corpi raccolti o dei quali si ha memoria che ci sieno arrivati dalle regioni superiori. — Sopra Madrid alle ore 9 29^m 30^s del 10 febbraio 1896, in mezzo ad un cielo calmo e sereno, apparve una meteora di un azzurro splendente diretta da SE a NW: un minuto dopo si intese una detonazione che gettò in tutti lo spavento, spezzò vetri e fece segnare al barometro prima un innalzamento di mm. 1,6, poi un abbassamento di 0,7: lo scoppio pare s'iniziasse allo zenith della città ad un'altezza di circa 30 km.: in seguito la meteora andò diminuendo ed alle ore 15 non era più visibile che come un cirro a 20° sopra l'orizzonte. Tutta la Spagna, ed anche il sud della Francia furono testimoni dello spettacolo che si presentò lungo una linea di più di 1000 km.: sotto lo scoppio però la massa meteorica si polverizzò e andò dispersa, e non se ne poterono quindi raccogliere che frammenti trascurabili. Un fenomeno simile s'ebbe ad Alfianello presso Cremona, alle ore 14 e 55^m del 16 febbraio 1883: ivi però la massa venne integra a terra e fu stimata di 3 quintali, e spezzata in seguito dai terrazzani, venne venduta a frammenti. Altri meteoriti caddero il 25 ottobre 1887 a Than-Duc (Cina), il 9 giugno 1889 a Mighai (Russia), ecc.; e anche per il passato le cronache ne ricordano uno del 616 che in Cina fracassò un carro, uno del 944 che appiccò un incendio, uno del 1674 che in mezzo all'Oceano uccise due marinai sulla tolda di un bastimento, uno, poco dopo il 1654, che a Milano uccise un Padre francescano, ecc.

Assicurato il fatto, esaminiamone distintamente le circostanze che l'accompagnano.

1° L'accensione delle meteore avviene nella nostra atmosfera, e a dimostrarlo bastano le misure fatte ripetutamente col metodo delle

triangolazioni. Supponete nella fig. 93 che A e B rappresentino due città sulla Terra, dalle quali si guardi la meteora E: l'osservatore collocato in A la vedrà in G, mentre quello posto in B la vedrà in F, ed ottenuto così il valore dell'angolo BEA, se ne dedurrà la distanza dalla superfice. Con questo metodo, il P. Secchi nel 1861 e 1864 trovava di 100 km. la altezza media delle meteore, e agli stessi risultati arrivava poi il Denning determinando più esattamente: *a*) che le stelle filanti cominciano a km. 129 e finiscono a 87; — *b*) che i bolidi da 111 scendono anche a 48; — *c*) che le stelle filanti telescopiche si accendono ad altezze superiori. Alcune di queste si sono difatti osservate anche a chilometri 200-230.

Fig. 123. — Meteorite di Stannern (faccia di dorso).

2° La velocità, con la quale queste fiamme scorrono, varia assai e passa dai 20 agli 80 km. per secondo. Con questa velocità è facile intanto rendersi ragione del loro incendiarsi. Supponete che un corpuscolo, penetrando nella nostra atmosfera vi si avanzi in media 40 km. per secondo: comprimerà davanti a sè l'aria, che poi gli sfuggirà con sfregamento sui lati: compressione e sfregamento daranno adunque il calore che farà incandescente il corpo e ne determinerà, con lo sviluppo di gas interni, lo scoppio ed anche la combustione e la volatilizzazione.

L'atmosfera fa dunque da cuscinetto e da strato difensore contro i bolidi che cadono sulla terra assai più numerosi di quel che potrebbe sembrare a prima vista: M. Newton valuta la loro massa a 360000 tonnellate all'anno.

Le loro ceneri non sono certamente riconoscibili nelle nostre regioni, venendo confuse col terreno. Ma il Nordenskiöld ha avuto la felice idea di rivolgere la sua attenzione agli estesi ghiacciai del polo ed organizzò a tal fine una spedizione allo Spitzberg. Furono

raccolte molte tonnellate di ghiaccio che venne quindi filtrato: nel filtro rimase tra l'altro molta polvere finissima di materiale ferrifero che il Nordenskiöld crede appunto dovuto alle stelle filanti.

3° Se prescindiamo dai bolidi, per il fenomeno delle stelle filanti non dobbiamo domandare molta massa. Supponendo eguale a quello del gas il potere illuminante della sostanza che la costituisce, Humboldt ha trovato che per formare una stella filante bella come Vega non occorrerebbero che 30 grammi di materia. J. Herschel riduce di molto questo valore e lo fa scendere a grammi 0,36; sicchè ambedue confermano che nelle stelle cadenti non dobbiamo riconoscere che *polvere* o, come diceva il P. Secchi, *farina di mondi!*

Fig. 124. — Meteorite di Stannern (faccia di petto).

4° Anche queste meteore hanno le loro leggi di tempo e di direzione, ed alcune ritornano a sciami, periodicamente, con la perfetta regolarità degli altri corpi celesti. Citiamo per ora, ad es., i due sciami principali, quello del 13 novembre e l'altro del 10 agosto. Ritornano ambedue tutti gli anni, ma rinforzano notevolmente ad ogni periodo, il primo di 33 anni, il secondo di circa 100-108 anni. I massimi dello sciame di novembre si ebbero negli anni 845, 902, 934, 1002 ecc. 1766, 1799, 1833, 1866 ed uno era atteso nel 1899 o nel 1900, ma l'aspettativa rimase in gran parte delusa; quello di agosto, senza toccare veri massimi, rinforzò notevolmente negli anni 1789, 1839, 1863.

Lo spettacolo che in questi massimi il cielo presenta è indescrivibile: per comprenderlo, bisogna provarlo. Preparatevi pure ad assistervi con tutta la freddezza di un matematico e col proposito fermo di non far altro che registrare gli elementi delle meteore: dopo pochi istanti voi dimenticate carta, matita, cronometri, carte celesti e quanto

avevate portato con voi, ed estatici sentite che per voi altro più non esiste che il cielo! Quelle meteore incantano; quei bolidi che si arrestano, che scoppiano, che rigano di strisce vaporose il firmamento, rapiscono; quelle tinte che si succedono e s'inseguono colla rapidità del baleno, sono troppo affascinanti e vi strappano le grida dell'entusiasmo più vivo: restarsi freddi in mezzo a tanta magnificenza di natura è impossibile, assolutamente impossibile: i cieli cantano più bella la gloria di Dio: *stellae dederunt lumen et laetatae sunt;* il momento è davvero solenne, e a questo banchetto di paradiso

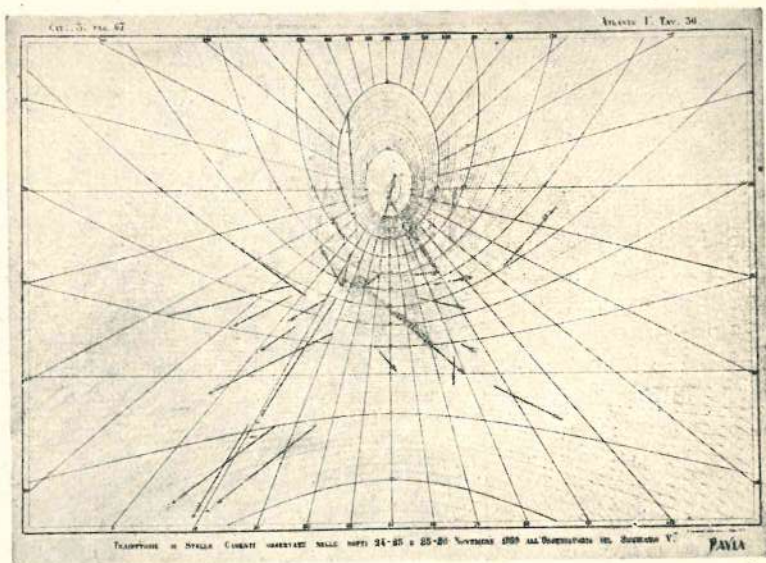



Fig. 125. — Traiettorie di *Andromedidi* osservate nelle notti 24-25 e 25-26 nov. 1899

non si può non assidersi e ripetere il cantico della gioia! Nella notte dal 12 al 13 novembre 1843 a Boston, col fenomeno già indebolito, si contavano 650 meteore, in 15 minuti, sopra un decimo del cielo ivi visibile: si sarebbero dunque viste 35000 meteore in un'ora su tutto l'emisfero, e 245000 nelle 7 ore della durata totale. Di che splendori di cielo si dovette allora godere, con tanti razzi che lo infiammavano da ogni lato!

5° Anche nella direzione le stelle filanti sono più regolari di quello che sulle prime si possa pensare. Provatevi, verso il 10-11 di agosto, a segnare sopra una carta del cielo le traiettorie che le diverse stelle filanti vi percorrono; sulle prime il disegno vi riuscirà confuso, inestricabile; esaminandolo più attentamente, vedrete però che *quasi*

tutte le vostre linee convergeranno in un punto, e prolungandole si incontreranno in quello, come raggi in un centro [1]. In questa pioggia di agosto tale punto di convergenza si trova nella costellazione di Perseo (V. Tav. I) e le stelle del periodo si dicono perciò *Perseidi* (comunemente *lacrime di S. Lorenzo*): nella pioggia di novembre il punto di convergenza si trova invece nel Leone (V. Tav. III) e le meteore prendono allora il nome di *Leonidi;* e così si distinguono poi le *Aurigidi* (V. Tav. II) dal 7 al 23 febbraio, le *Liridi* (V. Tav. IV) del 20 aprile, le *Orionidi* (V. Tav. II) dal 9 al 29 ottobre, le *Andromedidi* (V. Tav. II) del 13 novembre ecc. Il punto della volta celeste, dal quale sembrano *irradiare* le stelle, si chiama *radiante* e venne indicato per la prima volta da Humboldt nel 1799, poi da Olmsted il 12 novembre 1833. Di solito sul cielo si trovano più radianti contemporaneamente, come ad es. quelli di Cassiopea, del Cigno, delle Orse, del Dragone ecc., durante il periodo delle Perseidi. Le stelle che non si possono riportare ad un radiante, si chiamano *sporadiche.*

6° Il radiante non è il punto dal quale partono realmente le stelle, ma quello al quale noi le riportiamo per prospettiva. Due filari di piante, paralleli tra loro, visti da una estremità, sembrano dall'altra convergere e incontrarsi. È così anche delle stelle cadenti: due traiettorie parallele le riduciamo per prospettiva ad un punto comune. È importante però l'aggiungere che le stelle, che hanno comune il radiante, hanno anche comuni le proprietà: velocità, colore, altezza, ecc. Secondo Weiss, ad es., le Perseidi si accendono a 117 km. di altezza e si spengono a 87; e le Leonidi, secondo Newton, si accendono invece a 155 e si spengono a 98. Sono velocissime (km. 72 per secondo) le Leonidi, lente (km. 30) le Andromedidi.

7° Durante il fenomeno tutto il cielo si mostra avvivato da una luce abbondante e straordinaria. Questa luce in parte può ritenersi diffusa dalle meteore osservate, in parte è forse fosforescenza destata con lo sfregamento e col calore dell'atmosfera (Secchi), ed in parte forse anche effetto di miriadi di meteore debolissime, che l'occhio non riesce a percepire distintamente e che solo il telescopio potrebbe rivelare (Cavalleri).

8° Comunemente, dei *meteoriti* e delle *stelle filanti* si fanno due gruppi distinti, e distinti si ritengono non solo per le dimensioni,

---

(1) La fig. 126 mostra il globo ideato e fatto costruire dall'Autore per la registrazione della direzione delle stelle filanti. Il globo riproduce il cielo stellato ed è illuminato dall'interno con una lampada elettrica colorata, che senza offendere la vista rende facile e pronta la registrazione delle tracce delle meteore: questa si fa con una matita morbida, e dopochè i tracciati sono stati riportati su una carta stellare, il globo si lava con una spugna ed è pronto per una nuova registrazione. Dal globo si desumono poi le coordinate stellari (AR e D) dei punti di partenza e d'arrivo delle meteore stesse.

ma anche per l'origine. Nel 1885 (10 aprile) in Francia e nel 1887 nel Messico, si ebbero però stelle filanti accompagnate da meteoriti, e si acquistò così un argomento in favore di chi ritiene che di tutti questi corpi non sia da fare che una classe sola.

9° Quanto alla composizione chimica lo spettroscopio ha riconosciuto nelle meteore cosmiche il sodio, il magnesio e poi parti gassose e molte volte anche parti solide incandescenti. I meteoriti hanno presentata molta varietà di composizione, contenendo ferro, nikel, silicio, ecc., e secondo le analisi successive anche il carbone e il diamante. Benchè una divisione netta sia impossibile, i meteoriti si sono però distinti in diversi gruppi, e si sono chiamati *olosideriti* quelli totalmente metallici e che contengono ferro, nikel, ecc.; — *assideriti* quelli totalmente pietrosi e privi di ferro nativo; — *sissideriti* quelli prevalentemente metallici con inclusioni di pietre; — e finalmente *sporadosideriti* quelli prevalentemente terrosi con inclusione di metalli. — Un meteorite facilmente è coperto da uno strato nero derivato dalla fusione degli strati superficiali. Toccato con un acido, presenta sulla superfice delle righe intrecciate, come un ricamo di contorno a *greca*, e che si sono dette *figure di Widmanstetter.*

Ed ora l'ultima domanda: quale l'origine di queste meteore? Gli antichi le giudicavano di origine terrestre e le dissero ora fiamme che salivano alla sfera del fuoco, ora condensazioni di vapori e di pulviscoli dell'atmosfera, ora corpi sollevati da uragani o da eruzioni vulcaniche. Non è il caso di arrestarci a confutare queste dottrine. Come si può pensare a preparare nella atmosfera certi meteoriti di 8-10 quintali, od a farli portare a 100 km. di altezza dagli uragani, che sono retaggio riservato alle bassissime regioni? — Il fisico Terzago (1660) propose in seguito di considerare questi corpi come frutti delle eruzioni dei vulcani lunari, ed altri - soggiunse - anche dei solari. Questa opinione ebbe seguaci sino al fine del secolo XVIII: fu però abbandonata, sia perchè si comprese che i vulcani lunari forse dormono l'ultimo sonno, e sia perchè l'Olbers e poi altri, dimostrarono l'impossibilità di avere dai vulcani della Luna, anche i più colossali ed attivi, una forza di proiezione capace di portare i materiali entro la sfera di attrazione della Terra. — Nacquero in seguito le ipotesi *planetarie, cosmiche, nebulari,* ecc., e si pensò che queste meteore fossero sciami di corpuscoli vaganti per gli spazi, come gli asteroidi: la Terra, incontrandoli in determinati punti della sua orbita, li avrebbe attratti a sè, e ne avrebbe poi bruciati e disciolti la maggior parte in mezzo all'atmosfera. Queste ipotesi, che si distinsero tra loro secondo l'origine che ciascuna attribuiva agli sciami, segnarono un grande progresso nella questione, liberando gli indagatori dei cieli dalle primitive angustie di vedute e lanciandoli

arditi in mezzo a tutto il creato; e sono esse che si possono considerare come un primo passo verso la *teoria cometaria* sì bella, proposta nel 1866 dal nostro Schiaparelli e in seguito resa sempre più probabile da fatti numerosi. Vediamola.

Fig. 126.
Globo meteoroscopico Maffi per le registrazioni delle stelle filanti.

Considerate anzitutto uno sciame di materiali disgregati, che si trovi in mezzo allo spazio e venga assoggettato all'attrazione del Sole: i corpuscoli più vicini saranno attratti maggiormente, i più lontani meno, sicchè lo sciame, prima globulare, presto si troverà convertito in ellissoidale. Lasciate che l'azione del Sole continui, e, coll'andar dei secoli, quello sciame si distribuirà uniformemente lungo l'orbita che tiene attorno al Sole, sicchè se quest'orbita taglia quella della Terra, la Terra in ogni anno, ad epoca determinata, avrà una

pioggia di stelle, e questa poi sarà sempre uniforme, se l'anello meteorico sarà completo ed omogeneo, e presenterà invece dei periodi di speciali rinforzi, se l'anello non sarà completo e solo a periodi determinati ritornerà col nucleo più denso. Supponete che l'anello delle Leonidi nella sua parte più ricca, sia attraversato dalla Terra soltanto ogni 33 anni, ed eccovi spiegate le apparizioni straordinarie di che si rallegrano le scintillanti notti di novembre.

Ammessa e dimostrata questa prima idea di Erman delle meteore distribuite lungo un anello, restavano a cercarsi di questo anello, la forma e le dimensioni. Olmsted l'aveva detta circolare: Schiaparelli e Newton la dimostrarono invece ellittica o parabolica come quella delle comete. Per dimostrare la cosa (ora lo sappiamo) basta esaminare la velocità delle meteore. È vero che tale velocità per alcune è minore di 20 e per altre è di 70 km. al secondo, ma tale differenza è apparente e non reale: nella realtà è per tutte in media di 42 km. circa. Infatti non tutti gli sciami si muovono nel medesimo senso, e mentre gli uni *inseguono* la Terra, gli altri la *incontrano*. Che ne avverrà? Che la velocità dei primi sarà uguale alla *differenza*, e quella dei secondi alla *somma* della loro velocità colla velocità della Terra: la Terra corre 30 km. per secondo, le meteore la incontrano con quella di 42, ed ecco il totale di 72.

Fig. 127. — Movimento della Terra in uno sciame di stelle cadenti.

Conquistata questa cognizione, che le orbite degli sciami meteorici sono cometarie, restavano a tracciare le dimensioni di queste orbite e la direzione reale che occupano nello spazio: — e fu qui che allo Schiaparelli arrise la bella fortuna di riconoscere che queste orbite si identificavano con altre di comete già conosciute, in modo da obbligar subito a pensare che certe meteore e certe comete si potevano considerare come due treni che corressero su un binario comune. Così si sono trovate coincidere le Perseidi con la Tuttle (1862, III), le Leonidi con la Tempel (1866, I), le Liridi con la 1861, I, ecc.

Ma questa comunanza di orbite non prelude essa forse anche ad una comunanza di origine? Questo si poteva divinare e questo i fatti hanno confermato, tra i quali importantissimi quelli della cometa di Biela. Questa bella cometa, incatenata a un breve periodo da Giove o forse dalla Terra, ritorna ogni sei anni circa. Osservata

negli anni 1772, 1805, 1826 e 1832, non presentò nulla di straordinario: nel 1845 il P. De Vico la riconobbe allungata e con un frammento distaccato dal nucleo principale, indi divisa in due comete distinte, lontane 250000 km. l'una dall'altra: nel 1852 il P. Secchi ritrovò la prima parte della cometa il 26 agosto, la seconda nel settembre. Invano la si attese e ricercò nel 1859 e nel 1866: invano pure la si attese nel 1872, ed in vece sua si ebbe però una pioggia di stelle filanti contate a 25000 dallo Schmidt, a 33000 dal P. Denza, ecc., e questa pioggia si ripetè poi nel 1885 e, con minor lusso, nel 1898. L'influenza poi di Giove ha fatto anticipare di qualche giorno la data dell'apparizione di queste meteore. Non esageriamo nell'assegnare il valore ai fatti: qui però i fatti sono troppo eloquenti e troppo apertamente ci parlano di una cometa che si divide, che si frantuma e finalmente si disperde. Che sono dunque le stelle filanti, che verso la fine di novembre irradiano da γ Andromeda? Non sono che i frammenti della Biela che si dissolve, e giustamente per questo si chiamano dunque anche le *Bielidi.* — E il fatto non è unico. Diversi pezzi, vivi come altrettante stellette, si vedono abbandonati nelle code dai nuclei della Tuttle del 1862, della grande cometa del 1882, e della *c* 1889: — più comete coincidenti in un'orbita sola si dovettero interpetrare come frazioni di un'unica cometa primitiva, come, secondo l'Hoech, la cometa del 1807 con la Tebbutt (1881, III) e con le grandi comete del 1882 e del 1887; — e identiche disgregazioni sostennero avvenire [1] per la Brorsen lo Schulhof, per la Denning il Lamp.

Anche in comete più recenti si ebbero a notare mutamenti considerevoli, accennanti ad una probabile disgregazione. Anzi fummo spettatori di un caso simile nella cometa 1908 *c*, scoperta il 1° settembre di quell'anno dal Morehouse all'Osservatorio Yerkes, a William's Bay (Stati Uniti). Dopo aver subito importanti mutamenti, la cometa finalmente il 1° ottobre presentò una trasformazione straordinaria. Dalla testa in forma di dardo lanciava due getti rettilinei, al di là dei quali la coda diffondevasi lungamente nell'immensità dei cieli. Una dislocazione, una catastrofe, simile a quella della cometa di Biela, doveva essersi prodotta nell'astro crinito, tanto più che la sua posizione trovossi troppo discosta da quella calcolata provvisoriamente, indicando così con probabilità una modificazione della sua orbita. Una evidente disgregazione del nucleo in due parti, che si allontanavano l'una dall'altra, fu osservata nella cometa del 1916.

Meteoriti e stelle cadenti non sono adunque che detriti di astri maggiori, polveri di mondi disseminate nello spazio e man mano attratte e raccolte dall'uno o dall'altro dei grandi pianeti.

---

(1) *Annuaire du B. des Long.* 1896.

Lo Schiaparelli volle tornare sull'argomento in un articolo pubblicato nel dicembre 1908 sulla *Rivista di Fisica, Matematica e Scienze naturali.* — Accertato che almeno una cometa si è presentata con velocità iperbolica [1] e che molti meteoriti descrivono curve iperboliche, ne viene di conseguenza che almeno questi non appartengono al sistema solare. — Lo Schiaparelli pensò che i meteoriti si potessero dividere in tre classi: meteoriti a involucro gassoso, sideriti senza involucro gassoso e assideriti pure senza involucro gassoso. — La prima classe (comete) dovrebbe essere una caratteristica della corrente stellare, alla quale appartiene il nostro Sole, le altri due classi dovrebbero essere rispettivamente caratteristiche delle correnti stellari K_1 K_2 di Kapteyn. Per le comete si ritornava, in un certo senso, agli « astri vaganti » dall'una all'altra stella, di Laplace.

V'è pur da meditare pensando ai cieli! Quanti corpuscoli vagano con orbite proprie, da secoli e secoli, per spazi sconfinati, e sono un nulla! Ma anche per essi v'ha una legge e Dio li guida! Derelitti della umanità, che correte la vita nel silenzio e nell'oscurità, non cadete d'animo: Dio ha una legge anche per voi! Ora nessuno vi contempla; ma verrà giorno, in cui attratti dall'Astro centrale, volerete a Lui, e sarà quello il giorno fortunato, in cui in un'atmosfera di paradiso s'avviverà quella luce, che intorno a voi sarà gloria e premio per tutta l'eternità.

3. — **Abitabilità degli astri.** — Siamo partiti dalla Terra, e, salendo e visitando gli astri più lontani, alcuni ne abbiamo incontrati - le comete - che alla Terra ci hanno poi ricondotto; ed ora viene spontanea la domanda: « fra le molte meraviglie vedute nei cieli e le moltissime intravedute, c'è un astro il quale presenti a noi uomini un soggiorno uguale o migliore di quello che ci offre la Terra? » Nel sistema solare no, perchè i due pianeti nei quali potremmo adattarci a vivere un po' meglio che negli altri sono Marte e Venere: ora Marte è troppo vecchio rispetto alla Terra e Venere è troppo giovane, e quindi, in tutti e due, per ragioni opposte ci troveremmo a disagio. Ma il Sole è soltanto la stella a noi più vicina: tra le stelle ne abbiamo trovate alcune nella primavera, altre nell'autunno della loro vita, molte ancora nell'età matura come il nostro Sole e di costituzione fisica e chimica simile alla sua; ebbene, chi ci vieta di pensare che queste stelle sieno accompagnate da pianeti come il nostro Sole e che fra questi pianeti ce ne sia qualcuno simile alla nostra Terra? È stato veduto già attorno a qualche stella un satellite: ed a supporre che nessuna altra stella abbia dei satelliti, occorre uno sforzo della mente maggiore che a supporre l'opposto.

---

[1] V. STRÖMGREN, *Acc. Svedese delle Scienze*, 1898 e 1899.

Dunque se qualcuno vuole emigrare da questa terra può ritenere che il punto di arrivo non manca, mancano i mezzi di trasporto.

Altra domanda che tutti ci proponiamo è questa: vi saranno altri mondi abitati da esseri intelligenti?

La domanda ha colpito molti in tutte le età e ha dato luogo alle produzioni le più svariate, dal romanzo fantastico al trattato scientifico. Ebbene, che rispondere? L'osservazione non dice nulla, nulla affatto in proposito; la Teologia ci permette qui di pensare quanto di meglio ci aggrada: tenga adunque e creda ciascuno ciò che gli talenta. Vi piace credere che di creature ragionevoli ne alberghi solo la Terra? Fatelo pure. Voi venite con questo a dire che tutto l'universo è creato e ordinato all'uomo, perchè l'uomo, ammirandolo da questo pulviscolo che è la Terra, ne tragga un inno di gloria al Creatore. Anche così parlando, voi non offendete per nulla le leggi della economia creatrice: voi fate della Terra la Betlemme dei mondi, e da Betlemme può ben venire la manifestazione della gloria di Dio. Se mille mondi fossero stati creati, anche solo perchè l'uomo li avesse a contemplare per cavarne un inno di amore e di riconoscenza al Creatore, quei mondi non si potrebbero di certo dire creati invano: il tributo di una intelligenza, l'omaggio di un cuore valgono ben miriadi di mondi di materia! I raggi di tutti i Soli impallidiscono e scompaiono di fronte ad un raggio solo che scende da un'anima! — O preferite pensare che il palpito della vita si diffonde per tutto l'universo, e che ogni astro abbia i suoi cittadini, come ha la sua flora e la sua fauna ogni isola, ogni scoglio del mare? Se così vi aggrada, così pensate pure: non farete che abbandonarvi ad un concetto che vi dipingerà più bello, più grande tutto questo universo. Si è detto che è per superbia che noi vogliamo essere soli al mondo! Eh via! L'uomo non si deprime allorchè sente che gli altri astri gli nutrono dei fratelli, come non si deprime anche quando impara che sovra il suo capo si librano sull'ali miriadi di angeli. Rapito allo spettacolo di un cielo stellato, io amo pensare che quegli splendori di che l'azzurro si avviva e si ingemma, non sieno scogli muti: sente allora il cuore, anche di là, dipartirsi il cantico dell'amore, ed esultante lo accoglie e lo ripete..... Oh no! Non si impicciolisce l'uomo popolando i cieli: l'uomo anzi ingigantisce allorchè sente che altri lo intende e che la sua voce salendo al cielo non si perde nella solitudine opprimente del deserto..... Egli canta: concordi cantano con lui dalle profondità degli spazi innumerevoli schiere di altre intelligenze..... E cosa diviene allora ogni stella?

Una lampada accesa per illuminare una famiglia di figli di Dio, guidarla in quella meravigliosa processione di mondi a cui assistiamo. Si estingue la lampada? alla famiglia da lei rischiarata sono preparati

nuovi cieli e nuove terre, se essa ha saputo rinnovarsi interiormente alla luce di Colui che « *illuminat omnem hominem venientem in hunc mundum* ».

4. — **Conclusione.** — A Dio adunque vi dovete prostrare con particolare affetto voi, o giovani, che in queste pagine ho condotto a pellegrinare nei cieli. È tempio il cielo, son lampade i Soli: non echeggeranno questi cieli il vostro inno di lode, e dall'altare del vostro cuore non salirà a Lui grato il profumo d'un incenso d'amore? Passeggiare i cieli e non vedervi e non amarvi Iddio, lo possono solo gli infelici, che son ciechi e senza cuore. Le Sirene di Platone sono scomparse e le armonie materiali degli antichi si sono ammutolite; ma Copernico e Galileo, Newton e Kepler tant'altre armonie di ordine, di leggi, di luce e di vita vi hanno destate, che più grande e maestoso in ogni angolo ci hanno fatto sentire ed ammirare il Signore. I cieli sorgono e cadono: è Dio che li rimuta, come fa l'Arabo del deserto che raccoglie la sua tenda — *velut amictum mutabis eos et mutabuntur:* — ma egli sta — *tu autem idem ipse es et anni tui non deficient.* — Sì, Tu, o mio Dio, starai e intorno a te gli spiriti nei secoli eterni aleggiando inebriati ripeteranno l'inno che oggi cantano i Soli:

Quei che con legge eterna
Nostra danza governa,
In cui tutto s'imperna
Centro dei mondi Egli è!

(ROMBERT. *Trad.* Stoppani).

APPENDICE

ALCUNE QUESTIONI DI COSMOGRAFIA NEI PADRI E DOTTORI DELLA CHIESA.

1. *La forma della Terra.* — 2. *Gli antipodi.* — 3. *Movimenti della Terra: Questione galileiana.*

La storia della forma e dei movimenti della Terra è ricca di episodî, alcuni dei quali, per il loro particolare carattere e interesse, meritano di essere richiamati.

1. — La forma della Terra [1]. — Si è asserito che la Chiesa affermava e insegnava che la Terra era una superfice piana, circondata dal mare, sopra del quale il cielo tondeggiava come una vòlta (Draper). Ed invece il vero si è che la Chiesa non ha mai affermato nè insegnato nulla in proposito, lasciata sempre pienamente libera agli studiosi la questione (Gilbert). Che qualche Padre o scrittore ecclesiastico abbia accettata una Terra piana, con un cielo che le si incurvava al disopra e la chiudeva, è verissimo; ma lo insegnavano questi Padri e scrittori, personalmente, come una delle opinioni correnti ai loro tempi, senza però che per nulla c'entrasse la Chiesa, la quale, nel suo insegnamento, diremo così, ufficiale, sul tema non si è mai pronunciata. Parlando a' suoi popoli, ne userà il linguaggio, come le SS. Scritture; adattamento però di madre al bambino, e non accettazione o giudizio di dottrine, lasciate alle ricerche e alle dispute degli uomini. E d'altronde, come pretendere, anche da un S. Agostino o da un S. Basilio, il linguaggio di Vasco di Gama o di Magellano?

È piuttosto da segnalarsi quanto numerosi i Padri, i quali, anche in mezzo alle incertezze e contraddizioni delle loro età, hanno insegnata la Terra *rotonda* e *isolata*. A prova due sole citazioni, di S. Girolamo, che preferisco, perchè la 1ª di carattere generale, la 2ª di così viva efficacia. Dice adunque il S. Dottore che giudicandosi dai filosofi come più bella la figura rotonda, per questo *et Coelum et*

---

[1] Cap. II, § 1.

Sol et Luna et astra caetera et punctum Terrae; in corporibus quoque humanis oculi, quasi altera sidera, et figura capitis... hanc praeferunt rotunditatem: — e rotondi quindi il cielo, il Sole, la Luna e gli astri tutti e questo minuscolo punto centrale, ch'è la Terra; come poi, nell'uomo, tondeggianti il capo e il bulbo degli occhi... a dimostrar perfezione anche colla loro sfericità! (1). E come poi altrove, e non una volta sola, ricordati i *duo haemispheria*, uno superiore, l'altro inferiore, formanti il *globum Terrae* (2).

Ed è poi commentando le *fundamenta Terrae* della Bibbia che il Santo scrive: *Non quod terra habeat fundamenta profunda mole dejecta; sed voluntas et potestas Dei, qua omnia continentur, fundamenta illius appellanda sunt.* — « Non si devono già (quasi traducendo, scrive lo Schiaparelli) questi cardini, *questi fondamenti, queste pietre angolari*, intendere come punti di appoggio sovra una base; perchè allora dove avrebbe poi appoggio questa base? Ed i cardini sono dunque semplicemente i punti fissati in modo irrevocabile per divina volontà, dai quali la Terra non si può smuovere in alcun senso » (3) — e sui quali, prosegue il Santo, *super inane pendens* o *super nihilum, librata consistit.* La Terra dunque librata sul vuoto, sul nulla, o, come altri scrive, applicando un'altra frase della Bibbia, *vestita dell'abisso!* Le meravigliose frasi a dimostrarcela nello spazio isolata, senza contatti, ferma e immobile sopra una parola del Signore! (4).

2\. — **Gli antipodi.** — I Padri e gli scrittori ecclesiastici, come del resto tutti gli altri antichi scrittori, anche su questo tema sono divisi; chi li ammette e chi li nega, e per tutti può ripetersi la frase, colla quale, iniziando il capitolo sugli Antipodi, Plinio scolpisce lo stato della questione: *Ingens hic pugna* (5). Curioso per es. che S. Girolamo neghi gli antipodi cogli stessi argomenti, coi quali li negava Lucrezio (6); e dall'altra parte quanto pure interessante il rilevare come ai versi di Seneca (7):

> Venient annis saecula seris
> Quibus Oceanus vincula rerum
> Laxet, et ingens pateat tellus,
> Tethysque novos detegat orbes...

---

(1) EZECH. XII, 41, v. 8-12.
(2) Epist. *ad Fabiolam* LXIV, n. 19; EZECH. I, 1 v. 7; ISAIA, X, 11, vv. 12 et seqq.
(3) Cfr. *Astron. nell'A. T.* II, 16.
(4) ISAIA, VI, 13, v. 13; MICH. I, 6, vv. 1-2 ecc.: -- vedere le citazioni da S. Basilio, da S. Agostino, dal Beda ecc., comuni nei trattati.
(5) *Hist. nat.* II, 65.
(6) *Rer. Nat.* I, v. 1061, e segg.; EZECH. I, 1, v. 7.
(7) *Medea,* Act. II, in fine.

così ben rispondano le parole del contemporaneo Papa Clemente I, il quale [1] scrive: *Oceanus hominibus impermeabilis, et qui post ipsum sunt mundi, eisdem Domini dispositionibus gubernantur.* Divinazioni sulle Americhe?..... Si possono credere; questo per noi raccogliendo — che i Padri, come gli scrittori pagani, seguivano l'una o l'altra dottrina secondo che loro piaceva, con piena libertà.

La maggior questione però sul tema si fa per riguardo alla lettera da papa Zaccaria scritta nel 748 al vescovo Bonifacio, apostolo della Germania, nella quale gli comanda di procedere contro il prete Virgilio, e *si clarificatum fuerit ita eum confiteri quod alius mundus et alii homines sub Terra sint,* lo punisca ecc. Si rifletta che essendosi perduta la lettera di Bonifacio, ossia la domanda, ci manca l'elemento principale per interpretare il valore e il significato preciso della risposta. Comunque, da notarsi che l'*alius* non vuol dir già *un altro* o *altri,* e vuol dire invece *diversi;* donde la deduzione — che papa Zaccaria non condannava la credenza di *altri* uomini nel senso numerico, ma di *altri* uomini nel senso specifico, ossia di uomini diversi da noi, non discendenti da Adamo, condannando quindi non gli *Antipodi,* ma gli *Autoctoni.* Papa Zaccaria insomma precisava gli *homines:* se ci fossero stati, dovevano essere dei discendenti di Adamo: questa la decisione; non altra. (*Boffito, Gilbert* ecc.).

3. — Movimenti della Terra: Questione galileiana.

A) Pure adoperandoli nell'insegnamento e nella interpretazione dei fenomeni, la Chiesa e le Scuole non affermarono però mai che *i cieli tolemaici* fossero veri e reali. Usati (ora si direbbe) come *ipotesi di lavoro,* erano sempre rimasti *ipotesi* o *supposizioni;* altro no, ritenendosi ed insegnandosi che ben diverso forse un giorno si sarebbero trovati il fatto e la realtà. La frase, rimasta cattiva massima di morale, che suggerisce di *salvare le apparenze,* è quella che riassume tutto il programma della vecchia astronomia. In cielo i *fenomeni,* ossia le *apparentia,* o *ciò che appariva;* come spiegarli ammesso che si doveva ritenere che gli astri non si movessero che sopra circoli e con movimento uniforme? Ed ecco gli epicicli, le reagenti, i deferenti... *a salvare le apparenze,* a spiegare cioè le diverse velocità, le diverse distanze, le alterne ed opposte direzioni degli astri ecc. Non dimentichiamo che degli ultimi epicicli si servirà anche Copernico per *salvare alcune apparenze* ossia il fatto delle ineguaglianze planetarie! Definitivamente li licenzierà per sempre dall'astronomia solo Kepler quando, colle orbite ellittiche, potrà, senz'altri ingombri, rendere ragione del variare delle distanze e delle velocità ecc.

---

[1] I *ad Cor.*, 20.

E risaliamo a S. Tommaso d'Aquino († 1274), il quale esponendo Aristotele, che spiega le *apparenze* dei pianeti servendosi degli epicicli, così commenta: *Quod etiam postremi Astrologi diversimode facere conati sunt. Illorum autem suppositiones, quas adinvenerunt, non est necessarium esse veras: licet enim, talibus suppositionibus factis, appareant solvere, non tamen oportet dicere has suppositiones esse veras, quia forte secundum aliquem modum nondum ab hominibus comprehensum apparentia circa stellas salvantur.....* (1). E nella *Summa Theologica* (2): *In astrologia ponitur ratio excentricorum et epicyclorum ex hoc quod, hac positione facta, possunt salvari apparentia sensibilia circa motus coelestes: non tamen ratio haec est sufficienter probans, quia etiam forte alia positione facta possunt salvari.* Parole mirabili, e che scritte mentre Sacrobosco componeva la *Sphaera* e Ristoro d'Arezzo la *Composizione del mondo*, ci fanno comprendere il valore che quei nostri padri davano alle costruzioni, delle quali pure tolleravano ingombri i cieli. Dunque - dice S. Tommaso - ammesso pure che *talibus suppositionibus factis*, che fatte tali ipotesi si possano salvare *apparentia sensibilia circa motus coelestes*, non ne viene perciò che si possa *dicere has suppositiones esse veras;* e perchè? Perchè potrebbe darsi benissimo che anche in un altro modo, *nondum ab hominibus comprehensum*, si possano salvare e spiegare *apparentia circa stellas.* E ritorna il Santo su questo concetto, insistendovi, tanto da far pensare che, punto soddisfatto di quanto gli proponeva la *ratio excentricorum et epicyclorum*, egli divinasse già un Copernico o un Kepler, che, *alia positione facta*, egualmente od anche meglio gli avrebbe spiegato le anomalie dei pianeti e perchè quindi fossero *quandoque velociores, quandoque tardiores, quandoque stationarii, quandoque retrogradi!*

È sommamente interessante adunque il vedere come l'Angelo delle Scuole sia tutt'altro che entusiasta degli epicicli, per quanto Aristotele ne usasse *tamquam veris!* Newton nella semplicità delle leggi scoperte sentiva la vicinanza di Dio. E che anche S. Tommaso presentisse che non poteva essere di Dio il mondo complicato e farraginoso dei tolemaici?... e ne divinasse prossimo un altro semplice, e per questo veramente degno d'una Somma Sapienza?..... Intanto è certo il fatto, che è proprio il principe della Scolastica, S. Tommaso, che sugli epicicli e sugli eccentrici dell'antichità fa passare come una grand'ombra e con una diffidenza estrema, ad essi negando apertamente e rigidamente di potersi presentare ed imporre come verità: *non oportet dicere has suppositiones esse veras.*

(1) *De coelo et mundo*, II, 17.
(2) P. I, q. 32, a 1, ad 2.

* * *

B) Un altro punto poi da fissarsi bene: che assai prima di Galileo, si può dire lungo tutto il secolo innanzi a Galileo, la dottrina eliocentrica aveva già avuto nella Chiesa persone, quasi tutte ecclesiastiche, che, indisturbate e anche premiate, l'avevano abbracciata, professata e insegnata.

Primo il Cardinale Nicolò da Cusa (1401-1464), il quale nella sua opera *De docta ignorantia* (II, 11) scrive: *Terra, quae mundi centrum esse nequit, motu omni carere non potest:* — con maggiore precisione in un ms. soggiungendo: *Terra non potest esse fixa, sed movetur ut aliae stellae. Quare super polis mundi revolvitur quasi semel in die et nocte.* — Da rilevarsi questo *quasi semel,* che parmi alluda alla differenza tra il giorno solare e il siderale.

Di Celio Calcagnini (1479-1541) basti ricordare il titolo, che è la tesi di una delle sue opere: *Quod coelum stet, terra autem moveatur, seu de perenni motu terrae.*

Notevolissimo poi l'episodio di Alberto Widmanstetter, che in Roma, nel 1533 (cent'anni innanzi al processo di Galileo), nei giardini vaticani, per invito e alla presenza di Clemente VII spiega alla Corte pontificia *copernicanam sententiam de motu telluris,* dal Papa premiato col dono di un codice greco, di Alessandro Afrodiseo, oggi conservato nella Biblioteca di Monaco di Baviera. Chi ora visita la Specola Vaticana, a mezzo della prima scala di accesso, si soffermi un istante, e con piacere vi leggerà, scolpita in marmo, un'iscrizione che, quasi colle parole stesse del Widmanstetter, ricorda il fatto.

E nel 1543 a Norimberga, con dedica al Pontefice Paolo III, il canonico Copernico, pubblica il *De revolutionibus orbium coelestium,* l'opera fondamentale che espone e dà il nome al sistema, e spiega i cieli dando ai pianeti, Terra compresa, i due movimenti di rotazione e di rivoluzione. Con quali accoglienze? Lo dicono le parole del P. Diego da Stunica, il quale, nel 1584, insegnando a Salamanca, vi usava il sistema copernicano, che proclamava superiore al tolemaico scrivendo: *Nostro tempore, Copernicus juxta hanc sententiam* (la pitagorica) *planetarum cursus declarat; nec dubium est* (si noti bene) *quin longe melius et certius planetarum loca ex ejus doctrina quam ex magna Ptolomaei compositione et aliorum placitis reperiantur.* (Costanzi).

Altri minori potrebbero citarsi; ma bastano bene questi a dimostrare come per più di un secolo, prima che Galileo entrasse in questo arringo, il sistema copernicano era conosciuto, proposto e

professato da ecclesiastici, per nulla, a questo riguardo, nè richiamati, nè molestati. E come dunque tanta tempesta allorchè Galileo vi compare? Evidentemente per qualche nuova e speciale circostanza; e, diciamolo subito, per lo spostamento fatto subire alla questione, nella quale entravano poi insieme a crescere confusione e ad infierire le imprudenze, le esagerazioni e le passioni umane. Proprio vero che anche il miglior canocchiale non vede più bene allorchè ha le lenti appannate dalle esalazioni della palude!

* * *

C) Per giudicare l'episodio è necessario risalire di tre secoli e formarci un'idea dell'epoca. Si pensi alle battaglie che suscita, ai nostri tempi, un ministro della Pubblica Istruzione che, in uno Stato, modifica i programmi dell'insegnamento! E a queste cose noi siamo assuefatti pure, e non sono poi esse mai altro che cose accidentali e di secondaria importanza! Che dunque non aspettarsi, a quell'epoca, contro una dottrina, che, nientemeno, rimutava la faccia del mondo? Menti, che s'erano aperte a Copernico, ce n'erano state: ma la generalità?!... Crederlo, vorrebbe dire dimostrare di non aver conoscenza e pratica delle teste umane. Si pensi alle difficoltà che Colombo aveva incontrato per aver tre caravelle ad un'avventura di mare, ch'era poi proprio un nulla in confronto di quanto Galileo proponeva. In tutte le scuole, in tutti i libri, in tutte le menti, pacifico, senz'ombra di dubbio, imperante il tolemaismo; e come dunque non pensare ad un vero allarme che si sarebbe destato all'annuncio di una dottrina che spostava i mondi, e questo contro ciò che le apparenze ingenue e il linguaggio comune, a tutti, per tanti secoli, avevano detto? E questo a farci comprendere come dunque d'una reazione e d'una prima incredulità nessuno non avrebbe mai dovuto trovarsi sorpreso. La riforma del Calendario, è vero, avrebbe forse potuto e dovuto preparare alquanto gli animi a certe innovazioni: ma che era poi mai questa innovazione, la quale, dopo il salto di 11 giorni, dal 4 al 15 ottobre del 1582, aveva in seguito lasciato sempre il mondo in pace, e, per la generalità, sulla strada di prima?

Una cosa però era allora entrata nel mondo, che, per quanto estranea all'astronomia, aveva creato uno stato d'animi di una particolare sensibilità e di una straordinaria eccitabilità, il Protestantesimo, col *libero esame*, contro il quale, fermo, si era alzato il Concilio di Trento (1545-1563). Prima, tranquilli tutti e docili alle interpretazioni che della Bibbia dava la Chiesa coi Ss. Padri, non si potevano avere dissensi, i quali, se mai nati, subito in una soluzione

magistrale ritrovavano la pace; ma data ad ogni cervello la libertà di sentenziare, senza un'autorità superiore che potesse dirimere, come arrestare le inevitabili svariatissime correnti? Donde, se anche altrove, in Italia più che altrove oculatissima e rigida la vigilanza ad impedire che ci si fosse trapiantata la dottrina sovvertitrice, e, più che altrove, qui adunque attenti gli studiosi ad ogni interpretazione, che mai poteva presentarsi con qualche aria di pericolosa novità. Questa la circostanza, che aprì l'adito alla questione galileiana: il resto, miserie di passioni umane.

Galileo, almeno pubblicamente, non si professava copernicano che verso il 1610-1611, ed è esattezza doverosa il rilevare che, anche con lui, il sistema non riusciva a presentarsi altro che con argomenti di probabilità e prove di convenienza, e non ancora con dimostrazioni apodittiche e decisive. Donde l'impostazione della questione negli avversi campi, infaustamente poi e così inopportunamente sospinta sul pieno terreno della Bibbia:

prima — da parte dei vecchi tolemaici, se così li vogliamo chiamare, i quali, affermando che i fatti, fino allora addotti in favore dell'eliocentrismo, potevano tuttavia spiegarsi col geocentrismo, dichiaravano che non ancora si era obbligati ad abbandonare le antiche e tradizionali interpretazioni (ch'erano anzi da difendersi) dei testi biblici giudicati allusivi al cielo, per le nuove, che il geocentrismo sembrava voler imporre;

poi — da parte di Galileo, il quale, trascinato in causa, si era trovato costretto a difendersi, e si difendeva dimostrando — le frasi bibliche, che si volevano tolemaiche, tali essere soltanto per una più naturale accondiscendenza alle apparenze e al linguaggio comune e non altro.

Troppo vivace ed anche caustico il secondo, troppo restii ed impreparati i primi, non seppero essere guardinghi tutti e cauti quanto lo stato della questione allora imponeva. Certo che avrebbero lasciato tutti un memorabile esempio di buona polemica, se da Tancredi e da Argante avessero imparata l'arte e si fossero andati incontro con gran riguardo — *ben conoscendo l'un l'altro gagliardo.* —

* * *

D) Ed ora un brevissimo esame delle prove, sulle quali la battaglia s'impegnava.

In favore di Copernico stava il fatto (secondo la frase citata, del P. Diego da Stunica) che, col suo sistema, i movimenti si spiegavano *longe melius et certius*. E gli altri a rispondere che *melius*

et certius erano una buona raccomandazione, non però la prova assoluta e decisiva, dal momento che già da tanti secoli i movimenti si erano pur spiegati anche con Tolomeo.

Credette di confortare il nuovo sistema Galileo cercandogli prove nel flusso e riflusso del mare e nei movimenti delle macchie solari. Non vi riuscì però, nè vi poteva riuscire; chè, indifferenti le macchie solari ai due sistemi, con nessuno poi dei due sistemi avevano a che vedere le maree, infelicemente trascinate in causa.

Una buona parola in favore della innovazione avrebbero potuto insinuarla i satelliti di Giove, che Galileo vedeva per la prima volta il 7 gennaio 1610 e dei quali riusciva a stabilire la teoria collegandoli al massimo pianeta. Non era però decisiva la prova per i tolemaici, i quali rispondevano che le quattro Lune non impedivano per nulla a Giove di continuare ad aggirarsi intorno alla Terra, alla quale recava anzi un maggior onore un Giove diventato un astro più complesso e maggiore.

Più efficace l'argomento delle fasi di Venere, da Copernico divinate e richieste [1] e da Galileo primamente osservate nel dicembre del 1610. Anche contro di queste però si difendevano i tolemaici osservando che esse pure poteano spiegarsi o coll'antico sistema egiziano o col recentissimo di Ticone, che movevano bensì Venere e Mercurio intorno al Sole, ma che lasciavano però ancora immobile la Terra.

Riconosciuto questo stato degli animi e delle armi, non da tacersi una riflessione: che, se i tolemaici avessero pensato e pesato meglio, sarebbero stati ben più cauti e lenti nel sentenziare *a priori*. Era intanto già ben grande la benevolenza, che per la dottrina di Copernico doveva inspirare la sua semplicità, e noi ora proprio non sappiamo comprendere come subito non si sia guadagnati tutti gli animi una dottrina, che liberava i cieli da quegli inestricabili labirinti, dei quali li aveva ingombrati la miopia umana, solita a servirsi di piccoli ripieghi ne' suoi provvedimenti del momento. Tali però purtroppo non di rado i cervelli umani! Quanti che non credono bello se non ciò che è complicato, aggrovigliato, inestricabile, e che per questo chiamano ingegnoso! E vi si divertono, come l'architetto che, trascurata la linea pura classica, si effonde al barocco, al rococò, all'odierno floreale! Ha i suoi adoratori anche l'arzigogolo, purtroppo!

E se non perentorie, quanto pure avrebbero però dovuto preoccupare le ultime scoperte, che nei vecchi cieli aprivano una breccia, la quale, volere o no, ne comprometteva irreparabilmente la compagine e

[1] Cap. V, § 3.

la solidità! Si pensi che intanto la Terra cessava assolutamente di essere il solo ed unico centro dei movimenti, e che, a contrastarle il privilegio, le sorgevano e le si affermavano contro, il Sole, che sottraeva alla Terra Venere e Mercurio, e Giove, che si trincerava a dominarsi una famiglia a sè. Gli è vero, la prova dedotta dall'aberrazione della luce, che proietterà nel cielo l'ecclittica terrestre, e le molte altre che, a sistema assicurato, si troveranno poi, verranno solo nei secoli seguenti: quanto però anche questi primi fatti avrebbero dovuto essere *piombo ai piedi* nel rendere lento e cauto il giudizio di chi, aggrappato a idee antiche e accarezzate, s'illudeva nel non voler vedere le pur già tanto evidentissime frane!

E dall'altra poi incomprensibile per noi come Galileo, al quale gli amici e i benevoli consigliavano la ricerca di altre e vere prove, non abbia messo a profitto le leggi di Kepler, che doveva conoscere e tuttavia non nominò mai, le quali gli potevano pur fornire validissimi argomenti, la 3ª specialmente, scoperta nel 1618 e pubblicata nel 1619. Ne avrebbe dedotto che, come Giove co' suoi satelliti, così il Sole co' suoi pianeti, formavano delle vere e speciali famiglie, ciascuna con caratteristica propria. E dedottone che di questa caratteristica restava improntata anche la Terra, difficilmente gli oppositori avrebbero allora potuto rifiutarsi a riconoscerla, cogli altri, un pianeta alla dipendenza del Sole. Ma delle leggi di Kepler non una parola in tutte le opere di Galileo. Perchè? Oggi ancora, mistero. (P. Bricarelli).

E a qualche cosa non avrebbero potuto prestarsi anche le comete, tre delle quali si presentavano, si direbbe così opportunamente nel 1618? Verissimo; ma per mala sorte non dovevano servire esse pure che ad inasprire e a dividere di più gli animi, in particolar modo quello di Galileo contro il P. Grassi, il quale, bisogna pur riconoscerlo, contro Galileo qui aveva ben scelta la tesi migliore.

Così dunque ondeggiavano le due dottrine e i loro fautori, quando un fatto avveniva che avviando tutti su di un'altra strada, sospingeva la disputa, ancora abbastanza pacifica, a divampare in battaglia.

* * *

E) Il 12 dicembre dell'anno 1613 la Corte Medicea era a Pisa e vi convitava, nell'ora Palazzo Reale, tra gli altri il padre Castelli e il professore Boscaglia, lettori di questa Università, galileiano il primo, peripatetico il secondo. Caduto il discorso su Galileo e sulle sue scoperte, tutti lodarono, sussurrando però intanto il Boscaglia

all'orecchio di Madama Serenissima che era il moto della Terra quello che non gli si poteva ammettere, perchè questo era apertamente contrario alle Sante Scritture. Levate le mense, per un paio d'ore la conversazione continuò sul moto della Terra, obiettando testi scritturali la Granduchessa e spiegandoli in senso copernicano il P. Castelli; donde, subito dopo, una lettera del Castelli a Galileo, in Firenze, ad informarlo dell'accaduto, ed in seguito una prima lettera di Galileo al Castelli, 21 dicembre 1613, e poi l'altra a *Madama Cristina di Lorena, Granduchessa di Toscana*, a risolvere le obiezioni, che dalle Sante Scritture si volevano invocare contro le nuove vedute astronomiche. A questo punto il divampar della battaglia sopra accennata, che prima non s'era svolta che in lotte limitate e meno clamorose. E pensare che se non si fosse fatto quel convito, o almeno, che se a quella mensa, secondo prudenza e igiene, si fosse parlato di altro, forse la questione galileiana non sarebbe mai nata! E purtroppo, non essa la sola nata così!

Se pure leggenda, certo caratterizza un atteggiamento degli animi di allora la voce che corse circa il padre Caccini che, in Firenze, avrebbe eccitato gli animi, abusando, contro di Galileo, delle parole degli *Atti: Viri Galilaei, quid statis aspicientes in coelum?* E da Firenze il padre Niccolò Lorini segnalava a Roma la lettera di Galileo al Castelli sulle interpretazioni scritturali perchè qualcuno se ne fosse occupato. Se n'occupava difatti il Tribunale della S. Inquisizione, il quale, per conoscere il valore della nuova dottrina, ne affidava l'esame e il giudizio a' suoi *Qualificatori* il 19 febbraio 1616, col risultato del documento seguente, presentato il 24 dello stesso febbraio:

PROPOSITIO PRIMA: — Sol est centrum mundi, et omnino immobilis motu locali.

CENSURA: — Omnes dixerunt, dictam propositionem esse stultam et absurdam in philosophia, et formaliter haereticam, quatenus contradicit expresse sententiis Sacrae Scripturae in multis locis secundum proprietatem verborum et secundum communem expositionem et sensum Sanctorum Patrum et theologorum doctorum.

PROPOSITIO SECUNDA: — Terra non est centrum mundi nec immobilis, sed secundum se totam movetur, etiam motu diurno.

CENSURA: — Omnes dixerunt, hanc propositionem recipere eamdem censuram in philosophia; et spectando veritatem theologicam, ad minus esse in Fide erroneam.

E fu su questa risposta che tutto il Tribunale si orientò e deliberò.

Da rilevare:

I qualificatori erano undici, ed il loro giudizio, per l'una e per l'altra questione, sempre risultò dato alla unanimità: *omnes dixerunt*. Fu questa prontezza ed unanimità ed omogeneità di risposta alla doppia questione, che sedusse anche gli altri membri del Tribunale a discendere, si direbbe, con una tanta rapidità, alla sentenza?... Non sappiamo; piuttosto è sui *qualificatori* o sui *periti* (mi si permetta la parola moderna) che non può risparmiarsi una osservazione — i quali, in meno di sei giorni, credettero di poter decidere, con frase sì recisa, in materia sì grave, forse ad alcuni di loro estranea o almeno non familiare! Purtroppo di sbagli simili ne avvengono tutti i giorni, in tutti i tribunali, anche nei più cauti e circospetti! Certo intanto però che noi non ci saremmo trovati a questa pagina se, dubbiosi e fatti titubanti da maggiori prudenze, i *qualificatori* avessero consigliata una sospensiva e chiesto tempo a meglio esaminare e pesare. Un *dilata* avrebbe salvato tutto.

Per essere giusti non dimentichiamo tuttavia che, senza ancora avere le prove assolute, altrettanto facevano i copernicani, già altamente proclamando come dimostrato ciò che proprio dovevasi dimostrare. E riconoscere quindi dall'una e dall'allra parte lo stato di battaglia e non di vittoria, nelle condizioni degli studi, delle menti e della disciplina di allora sarebbe stata salvatrice equità; e peccato che, di questa temperata equità, sia rimasto isolato l'esempio, proprio in questa circostanza, dato dal Tribunale stesso della S. Inquisizione! Accettando il giudizio dei *qualificatori*, dovevansi condannare i libri che professavano l'eliocentrismo. Ebbene? per rilasciar libero il *De revolutionibus orbium coelestium* il Tribunale soltanto imponeva un *corrigatur*, che avesse dato forma *ipotetica* ai pochi passi che affermavano il sistema in forma *assoluta;* — coll'encomio: *Praedictos libros Copernici omnino pro utilitate Reipublicae Christianae conservandos ac sustinendos esse.* Da rilevarsi.

* * *

Galileo, sentito in Firenze che delle sue dottrine e dei suoi scritti si stava discutendo a Roma, senza esservi chiamato vi andò, arrivandovi sui primi del dicembre del 1615, dagli amici e dagli avversarî accolto cogli onori e colla stima, che bene si meritava. La S. Congregazione, per quanto rispetto alle dottrine informata alle censure inflitte dai *qualificatori* alle due proposizioni copernicane, all'uomo però volle usare ed usò ogni cortesia, e soppressa ogni intimazione

diretta e ogni solennità di procedura, affidava al Card. Bellarmino, che col Galileo era nei migliori rapporti, di invitarlo a sè e privatamente di parteciparli la decisione ch'era stata presa, persuadendolo ad aderirvi, in futuro astenendosi dall'insegnare e dal difendere, a voce o in iscritto, la nuova dottrina. Il colloquio avveniva nell'abitazione del Bellarmino il 26 febbraio, e dell'esito riferiva il Bellarmino stesso il 3 marzo seguente, 1616, dicendo *quod Galileus Galilei Mathematicus, monitus de Ordine Sacrae Congregationis ad deserendam opinionem quam hactenus tenuit, quod sol sit centrum spherarum et immobilis, terra autem mobilis, acquievit.*

Nel giugno dello stesso 1616 Galileo ritornava a Firenze: con quale aureola lo dice il Cardinale Orsini in una lettera al Granduca Cosimo II, colle seguenti parole: « Se ne ritorna da V. A. il Sig. Galileo Galilei, con l'havere qua non solo con la sua presenza disfatte tutte le calunnie evidenti dei suoi avversarii, ma ancora con essersi acquistata somma reputatione appresso questi Ill.mi Cardinali, i quali hanno sommamente stimato d'havere occasione di conoscere più intimamente le sue virtù ». Nello stesso senso si esprime il Cardinale F. M. Del Monte [1].

Da notare che inesattamente gli atti del 1615-1616 si considerano come un primo processo: vero processo non fu che quello del 1632-33, come vedremo. E pure da rilevare quanto il Tribunale, severo contro la dottrina qualificatagli da rifiutarsi, sia stato buono e indulgente colla persona; nè il Tribunale soltanto, ma anche il Papa, Paolo V, il quale, avuto Galileo in una udienza privata, con lui a lungo si intratteneva con ogni buona confidenza e familiarità.

F) E tutto così sarebbe stato finito; quando a ridestare la disputa e a sospingerla alle sue conseguenze estreme veniva il *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo*, che è non l'opera somma, ma la più celebre di Galileo, specialmente e proprio per il processo che determinava. Ideata da molti anni e terminata sui primi del 1630, l'opera doveva essere stampata in Roma coll'*imprimatur* del Maestro dei Sacri Palazzi, concesso sotto alcune determinate condizioni; mutatesi alcune circostanze, la stampa si trasferiva invece a Firenze, e qui coi tipi del Landini si pubblicava nel 1632. Purtroppo alcuni fatti, voluti e fortuiti, calcolati e ingenui, concorrevano e s'accordavano nel far presentare il libro a Roma sotto una luce meno serena! — Non osservate le condizioni dell'*imprimatur;* il nome di Simplicio, per il peripatetico del *Dialogo,* insinuato come un'ironia contro il Papa; il carattere di *ipotetico* dato al sistema soltanto a parole

---

(1) Opp. XII, pp. 263-4.

deboli e vaghe, che nella realtà esprimevano invece ben altro.....: queste ed altre simili accuse non tardarono a ingenerare dei sospetti e a fare persin credere che sulla disobbedienza alle ingiunzioni del 1616 si intendeva quasi di scherzare anche con irriverenze punteggiate di causticità: donde una certa diffidenza circospetta ed il rigore col quale, citato Galileo (23 settembre 1632) a presentarsi in Roma, si insistette perchè vi fosse andato, non ostante la sua grave età. Per ordine del Papa, Urbano VIII, una speciale Commissione, della quale si ignorano i membri, aveva già intanto esaminato il libro segnalandovi *il corpo del delitto,* come fu chiamato, in otto punti di dottrine o di fatti da correggersi o da ripararsi: su questi l'inizio degli esami davanti al Tribunale dell'Inquisizione, che, cominciati il 12 aprile, terminavano coll'abiura del 22 giugno 1633, nella quale Galileo giurava di *lasciar la falsa opinione che il Sole sia centro del mondo e che non si muova, e che la Terra non sia centro del mondo e che si muova;* perchè *notificatogli che detta dottrina è contraria alla Sacra Scrittura.*

A questo punto convenienti alcuni dati e alcune osservazioni.

Secondo la disciplina di allora, prima, durante e, se condannato, dopo la procedura, Galileo avrebbe dovuto essere rinchiuso in carcere; ed invece, e subito da rilevarsi, in carcere Galileo non ci fu mai, nemmeno per un'ora. Al palazzo del S. O., per gli interrogatorî dal 12 al 20 aprile del 1633, ebbe per abitazione gli appartamenti del Fiscale, con ogni libertà di accesso ai giardini; come per tutto l'altro tempo della sua dimora in Roma, prima e dopo il processo, si ebbe il palazzo di Firenze e poi la Villa Medici al Pincio, sedi dell'Ambasciatore di Toscana.

Fattagli in seguito facoltà di partire, il 6 luglio moveva per Siena, ospite di quell'Arcivescovo, discepolo e amico, ch'era Mons. Ascanio Piccolomini, e quindi (17 dicembre 1633) per Arcetri e poi anche per Firenze, dovunque trattato con ogni riguardo e assistito con tenere premure, fino alla morte che avveniva in Arcetri l'8 gennaio del 1642. Di torture e di maltrattamenti non dunque neppur da parlare; e nemmeno dell'*Eppur si muove* da parlare, fantasia da nessun documento suffragata e troppo tardivamente (un secolo e mezzo dopo) messa fuori, e che allo stesso Galileo farebbe torto. Fu colle dottrine, che il Tribunale si mantenne rigido e fermo; non coll'uomo, al quale è giustizia riconoscere che furono usate, anche in mezzo alle passioni che minacciavano di turbare la serenità del dibattito, larghissime cortesie.

E per le dottrine interessante il rilevare che la disputa fu sempre impostata sulle Sante Scritture. Da un secolo se ne parlava con serenità, ed ecco il Boscaglia alla mensa medicea spostare la questione,

ch'era pacifica, per portarla sul terreno della Bibbia, sul quale lo stesso Boscaglia circoscriveva ed acuiva il dibattito. Dante, come i Padri prima, come lo stesso Galileo dopo, aveva pur già data la buona regola d'interpetrazione ammonendo che,

> . . . . . la Scrittura condiscende
> A nostra facultate, e piedi e mano
> Attribuisce a Dio, ed altro intende,
> (*Par.* IV, 43-5)

e dietro questa regola come si sarebbe pur potuto e dovuto subito comprendere che le frasi scritturali, che accennavano al *nascere* e al *correre* del Sole e allo *stare* della Terra non erano che adattamenti al linguaggio e alle apparenze umane! Ma sospinta la questione all'estremo - se la *stretta* interpetrazione letterale era da mantenersi o no - ecco le due correnti presentarsi, l'una forte di tutta una tradizione e d'un consenso, sia pure volgare, tuttavia però universale; l'altra purtroppo non ancora armata di prove decisive e poi in opposizione alle ovvie apparenze che il cielo offriva. E capitò quello che in simili circostanze capita dappertutto. Con questo però, che la Sacra Congregazione, anche in mezzo alle nuove ombre e diffidenze, alle accuse nuove e agli episodî piuttosto disciplinari e personali, che le si prospettavano anche in una luce irritante, si mantenne piena di rispetto a Galileo, e per la persona usò sempre quanti più riguardi potè.

* * *

Un ricordo. — Dal *Northumberland*, prossimo a S. Elena, Napoleone scorgeva sul mare delinearsi e allungarsi una striscia di fumo, sotto la quale una nave si avanzava. Ne domandò, e un ufficiale gli rispose: È un battello a vapore, il *Fulton*. — Il *Fulton?* — Sì, ripetè l'ufficiale: una nave nuova, che porta il nome dell'inventore. — Ah, mio Dio! — ripigliò allora Napoleone, che battendosi la fronte, andò a sedersi all'estremità del ponte esclamando: Una nave nuova, una forza nuova!..... Poteva rimutare i destini del mondo!... Ed io l'ho pure avuta nella mia mano, e l'ho lasciata sfuggire! *Date mente ai dotti!...* — E alzandosi, si diè a passeggiare a passi concitati, volgendo altrove lo sguardo, mentre il *Fulton* passava vicino, rapido e si dileguava. Era il giovedì 16 ottobre... L'uomo dalla gabbia gridò: — Terra, terra! — Sì, disse Napoleone: la terra che coprirà il mio cadavere. — Erano a S. Elena. — Per comprendere le parole di Napoleone richiamiamo che Fulton gli aveva presentato la sua *Memoria* nel 1804; lettala e trovatala interessante, Napoleone

con lettera 21 luglio 1804 dal campo di Boulogne, l'aveva spedita subito al Signor di Champagny perchè l'avesse fatta esaminare da una Commissione dell'Istituto, la quale difatti sentenziava poi che Fulton era un visionario e la sua proposta un'idea stolta, un errore madornale, un'assurdità! Dietro tale risposta Napoleone lasciava cadere la proposta di Fulton, pur mormorando tra di sè: *Eppure!...* — E si trattava d'ingegneri, di meccanici, di dotti di fama mondiale, che poi giudicavano in materia di vera e speciale loro competenza, e non di teologi, improvvisati giudici tra una frase della Bibbia e una dottrina nuova di astronomia!... E di episodi analoghi quant'altri ne ha la storia della scienza!...

* * *

Conchiudendo:

Certo noi ora vorremmo che la questione galileiana non fosse mai sorta; posto però il fatto, nella legislazione e nelle condizioni del tempo e degli uomini ben dovremmo sapercela spiegare, e pur riconoscendo i torti dove ci furono, non cadere in ingiustizie con nessuno, nè in recriminazioni tribunizie, in tutto portando invece sincerità ed equità. Del resto qualche cosa di quello, che intervenne a Galileo, non intervenne forse sempre? Ricordisi la Grecia antica. E presso i moderni?... Un maestro, un professore insegna una dottrina, che si giudica non buona: che si fa? Si *provvede!* Non ci sono per questo i *Provveditori?...* E si è pure, e da quanto tempo, nelle somme e inviolabili libertà!

Nè poi da tentare di far entrare il Papa e il suo magistero in questa partita, nella quale quanti Papi entrarono, tutti ebbero benevolenza e indulgenza per Galileo. Il Papa sta ben più in alto, e in tutta questa partita, come in Paolo V e poi in Urbano VIII risplende il loro amore e il loro zelo per la religione! Pensiamo alla loro epoca, e pensiamo quanto non li doveva tenere preoccupati la tutela delle Sante Scritture! Non questioni dunque d'infallibilità o d'altro, ma dei tesori della Chiesa, ed essi vi spiegarono intorno un ardore, al quale è doverosa giustizia tributare ogni lode. — Un po' di polverìo fuori, giù per le strade?... Ma che c'entra il Sovrano con tanti degli atti minori, che i subalterni compiono pure talvolta *in nome di Sua Maestà?*

Facili ora i giudizi e le condanne contro la Sacra Congregazione, contro i teologi, contro tutti. Una osservazione però è bene che i moderni facciano innanzi di condannare con tante acredini — questa, che, dopo tre secoli, allorchè alla Congregazione si vuol rimproverare

qualche cosa, sempre si ricorre al fatto di Galileo, magari aggravandolo ed aggiungendovi anche ciò che non vi fu od esponendolo in una luce che, non essendo la sua, non è quella della verità. Ebbene, e io credo che tutti i tribunali del mondo la invidiano questa fortuna al Tribunale di Roma, la fortuna di obbligare i suoi detrattori a dover risalire sempre di tre secoli per potere in qualche modo ritrovare un rimprovero da fargli.

E Galileo, che ora sorride, ed anche da' suoi stessi dolori cava per noi il monito di essere sempre sereni e lenti e giusti nell'esaminare e nel sentenziare! Meno appassionato il dibattito e contenuto da tutti nel suo vero ambito, e Copernico si sarebbe sostituito a Tolomeo forse un po' più lentamente, ma certo assai pacificamente, e la storia della scienza avrebbe avuto episodi di ben altro genere da narrare. Invece un allarme, una preoccupazione, che, non la questione astronomica, ma una speciale condizione delle menti e dei tempi destava, intorbidò e guastò. Non temiamo mai della verità: se verità, sarà sempre una conquista che trionferà e della quale si avvantaggerà la famiglia umana. Alla caduta dell'Impero Romano quanti che ne temettero per la caduta persino della Chiesa! E la Chiesa non ne traeva invece altra conseguenza che quella di dilatare il suo regno anche tra i barbari e ai popoli ultimi della Terra!

Colla caduta del *geocentrismo*, quanti che, già trincerati in un loro *antropocentrismo* vanitoso ed egoista, guardavano come spaventati alle idee di chi facilmente sarebbe passato ad ammettere altre creazioni, od anche, se necessarie o convenienti, anche altre incarnazioni e redenzioni! Ebbene, uomini di poca fede, e non già proprio in S. Tommaso d'Aquino di che calmare le vostre apprensioni e le vostre perplessità? *Sicut Deus potest semper novas creaturas condere, quia eius potentia per creaturas non exhauritur, ita etiam Filius potest, qualibet natura assumpta, iterum aliam assumere; quia potestas assumendi per naturam assumptam non terminatur* (1).

No, nessun allarme nelle dilatazioni delle opere e del regno di Dio, e quanto bello per noi nelle pagine dell'Aquinate trovare le intuizioni dei cieli nuovi e delle terre nuove, che sono vantate come conquiste delle ultime età! Al suo posto l'uomo, al suo posto la Terra; al posto dato da Dio alle sue creature, perchè facciano armonia nell'inno, che al suo Fattore canta l'universo.

---

(1) Vedi III *Sent.*, dist. 1, quaest. 2, art. 5; con queste parole da confrontarsi le altre della q. precedente, art. 1, quaestiuncula I, e poi le altre ancora della C. G. IV, 55; della S. Th. p. 3, q. 4, art. 1 ecc.

INDICE ALFABETICO DELLE COSE NOTEVOLI.

I numeri indicano le pagine (e le tavole)

A

G

H

I

J

K

L

M

N

O

P

INDICE ALFABETICO DEGLI AUTORI.

I numeri indicano le pagine

A

B

C

D

E

F

G

H

I

J

K

L

R

S

T

U-Y

V

W

Z

INDICE ANALITICO

CAPITOLO VII.

Pianeti e Satelliti.

CAPITOLO VIII.

Le Stelle.

CAPITOLO IX.

Movimenti delle Stelle e Nebulose.

CAPITOLO X.

Comete e Meteore cosmiche.

APPENDICE.

Alcune questioni di cosmografia nei Padri e Dottori della Chiesa.

Tavole intercalate nel testo.

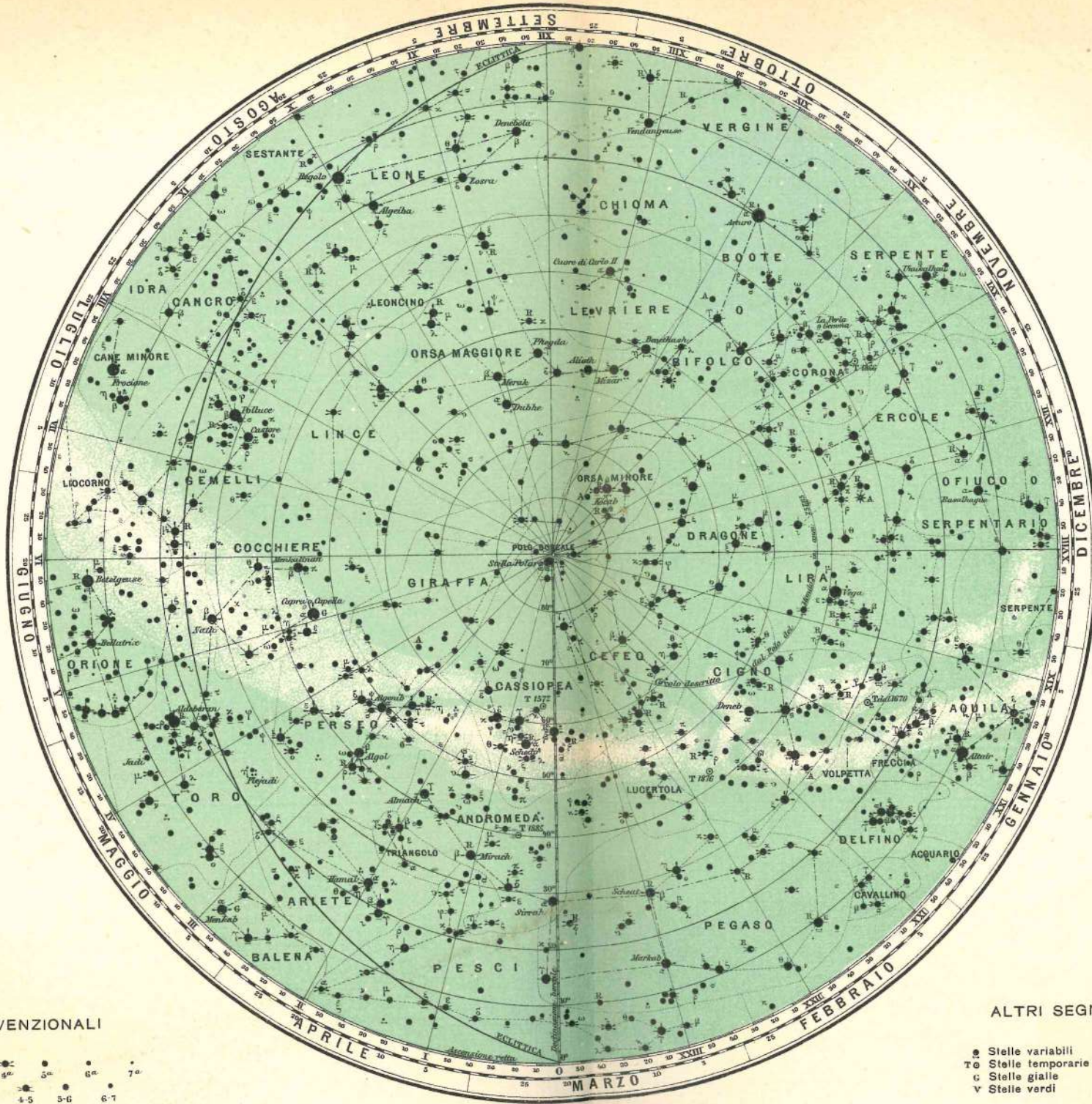
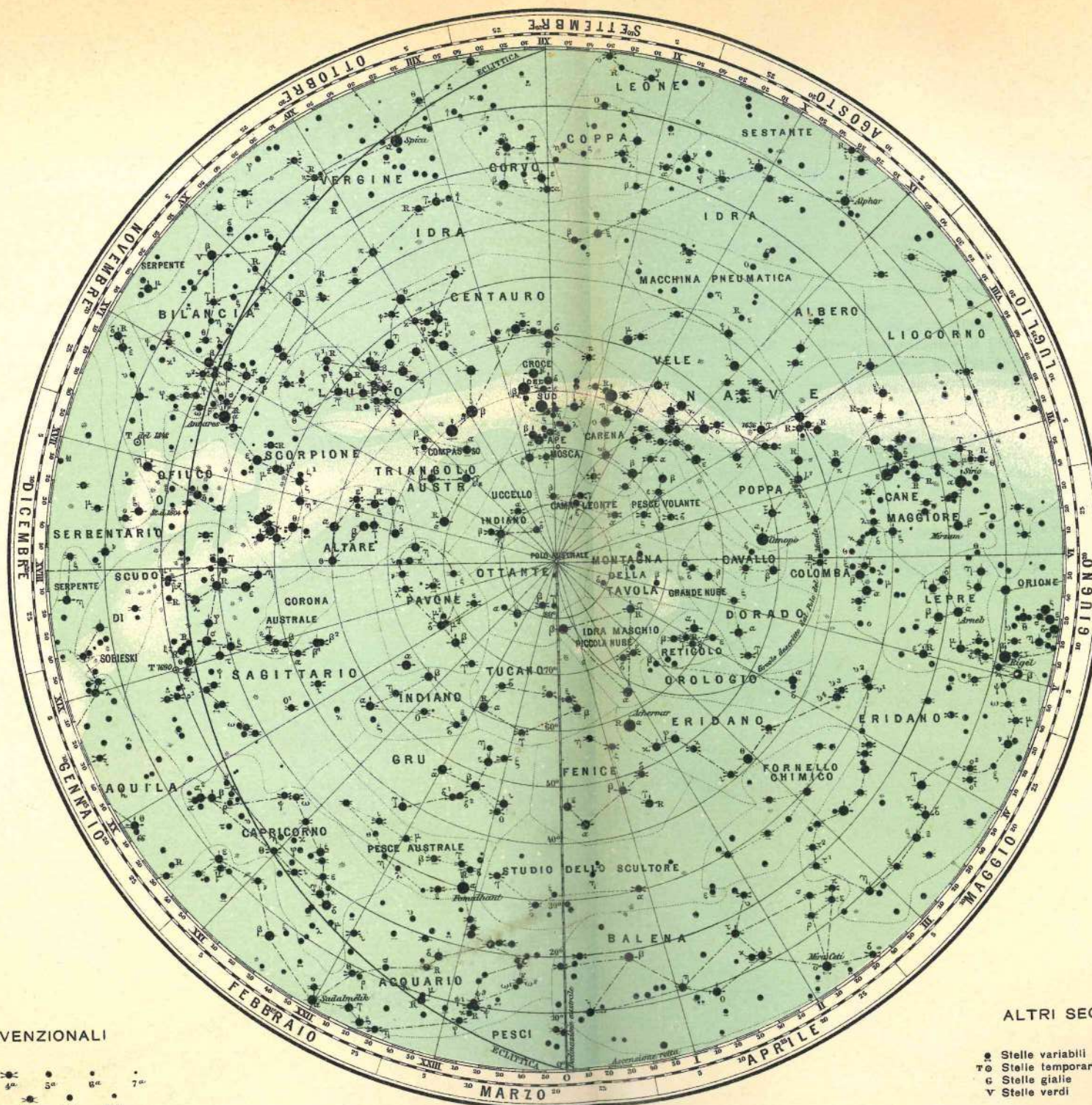
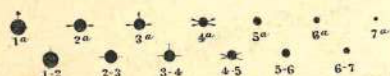
Tavole fuori testo

Emisfero Celeste Settentrionale

Emisfero Celeste Meridionale

SEGNI CONVENZIONALI

1ª 2ª 3ª 4ª 5ª 6ª 7ª

1-2 2-3 3-4 4-5 5-6 6-7

ALTRI SEGNI CONVENZIONALI

- Stelle variabili
- T Stelle temporarie
- G Stelle gialle
- V Stelle verdi
- Stelle doppie o multiple
- R Stelle rosse
- A Stelle aranciate
- Nebulose
- Ammassi stellari

Ist. It. d'Arti Grafiche - BERGAMO

Spiegazione delle Tavole.

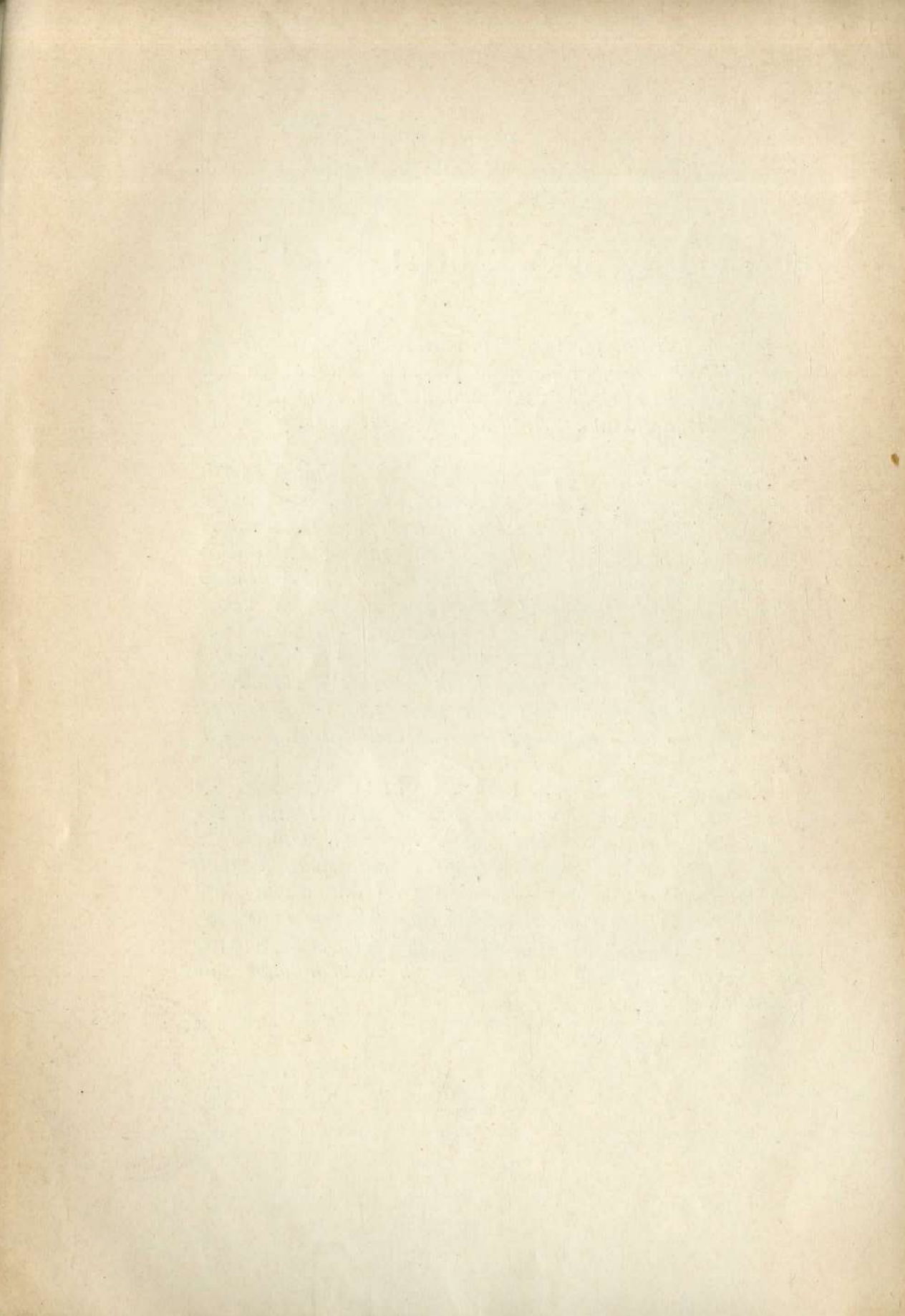
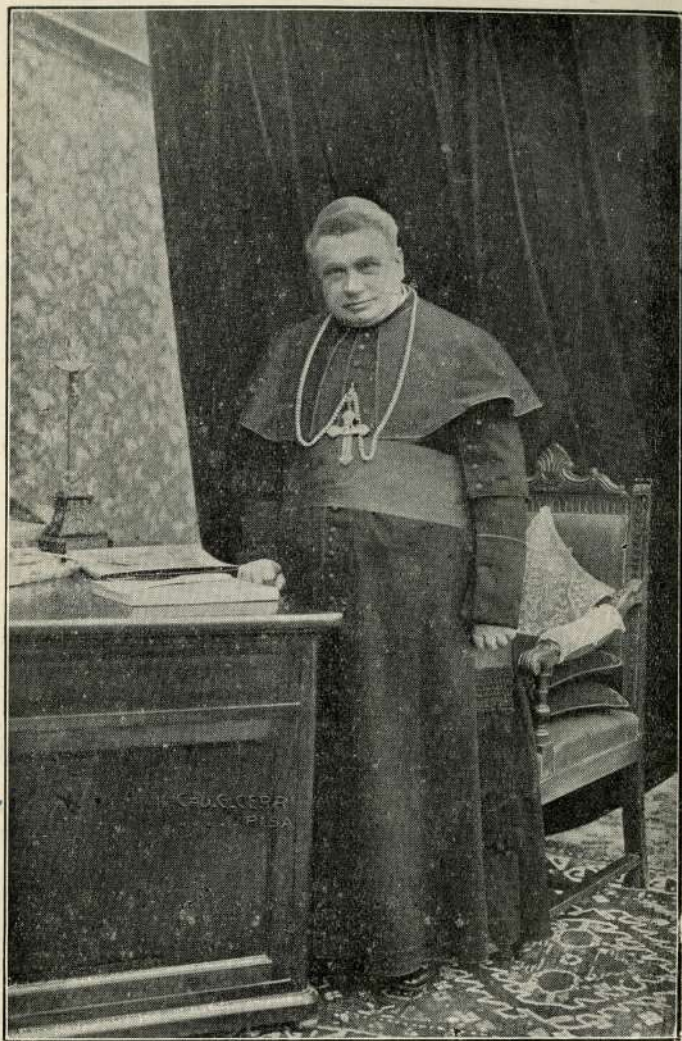
TAVOLA I. — I raggi che escono dal centro riuniscono i punti di eguale ascensione retta. Sul raggio di ascensione retta 0° sono indicati, di dieci in dieci, i gradi di declinazione.

Le costellazioni chiuse entro il cerchio sono quelle che rimangono sempre al disopra dell'orizzonte di Pisa. I nomi dei mesi sul contorno della circonferenza indicano la parte di cielo, che in quel mese sorge e tramonta insieme al Sole.

TAVOLA II. — Le linee orizzontali riuniscono i punti di eguale declinazione di 15 in 15 gradi e si estendono da + 45° a — 45°: le verticali riuniscono i punti di eguale ascensione retta.

La curva tratteggiata nera rappresenta il percorso apparente del Sole sulla sfera celeste. All'incontro di questa colla linea di declinazione 0° si trova il punto di Ariete, origine delle ascensioni rette.

TAVOLE III e IV. — Divisioni e spiegazioni analoghe alla seconda tavola.

TAVOLE V e VI. — I raggi che escono dal centro riuniscono i punti di eguale ascensione retta: i cerchi concentrici riuniscono quelli di eguale declinazione. Sulla circonferenza esterna sono indicati i mesi ed i giorni in corrispondenza delle ascensioni rette che in essi presenta il Sole.

(Fot. Cav. Cerri - Pisa 1928).

IL CARDINALE PIETRO MAFFI